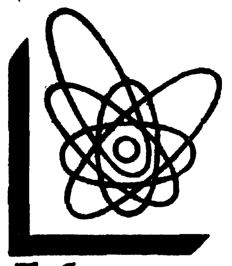
Библиотека учителя физики

1

Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе

Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе





Библиотека учителя физики

Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе

Часть 1

Механика, молекулярная физика, основы электродинамики

Под редакцией А. А. ПОКРОВСКОГО

Издание 3-е, переработанное

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1978

В. А. БУРОВ, Б. С. ЗВОРЫКИН, А. П. КУЗЬМИН,
А. А. ПОКРОВСКИЙ, И. М. РУМЯНЦЕВ

Рекомендовано к изданию Главным управлением школ Министерства просвещения СССР

Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе. Ч. 1. Механика, молекулярная физика, основы электродинамики. Под ред. А. А. Покровского. Изд. 3-е, перераб. М., «Просвещение», 1978.
Д31

351 с. с ил. (Б-ка учителя физики).

На обороте тит. л. авт.: В. А. Буров, Б. С. Зворыкин, А. П. Кузьмин и др.

В книге изложены методика и техника физического эксперимента по механике, молекулярной физике, основам электродинамики.

Д $\frac{60501-585}{103(03)-78}$ подписное 53

ПРЕДИСЛОВИЕ

Демонстрационные опыты по физике в средней школе весьма многочисленны и разнообразны. На одну и ту же тему можно указать несколько возможных вариантов, по-разному решающих поставленную задачу. Настоящее пособие посвящено демонстрационным опытам в старших классах средней школы[1].

В основу подбора опытов были положены четыре направления. Прежде всего показаны опыты, отражающие процессы, явления и закономерности, являющиеся определяющими для того или иного раздела; затем опыты, раскрывающие типичные применения некоторых изучаемых явлений и закономерностей, наглядно показывающие тесную связь физики с окружающей жизнью. Дано сравнительно небольшое число опытов, подготавливающих учащихся к физическим практикумам; к ним относятся опыты, демонстрирующие устройство и принцип действия основных лабораторных приборов, приемы обращения с ними, методы определения некоторых физических величин. Наконец, к необходимым отнесены опыты, представляющие собой экспериментальные задачи, которые помогают углубленному пониманию изучаемого материала и развивают физическое мышление.

Содержание разделов и опытов, а также порядок расположения материала тесно связаны с действующими программой основного курса и учебниками.

При разработке конкретного содержания каждого опыта обращалось внимание на комплектность оборудования. Из многих возможных и различных по характеру установок на одну и ту же тему нами выбиралась такая, которая не требовала бы специального прибора только для данного опыта, поэтому большинство приборов встречается по нескольку раз в разных установках. Таким образом, курс физики обеспечивается необходимыми демонстрациями при минимальном комплектном оборудовании.

Как правило, описанные установки собираются из приборов, выпускаемых нашей промышленностью. Иногда дополнительно

---

[1] Для восьмилетней школы см.: Буров В. А. и др. Демонстрационные опыты по физике в VI—VII классах средней школы. Под ред. А. А Покровского. М., 1974.

применяются и самодельные, упрощенные приборы или приводятся ссылки на литературу, где можно найти указания к постановке опытов на самодельных приборах.

Авторы сочли возможным воспользоваться электронным осциллографом, секундомером, демонстрационным гальванометром М1032 и другими приборами общего назначения до изучения их устройства в курсе физики. Кроме того, введены некоторые вновь разработанные приборы, например электронный стробоскоп, прибор для введения понятия о массе, солнечная батарея. Все эти приборы утверждены Министерством просвещения СССР для изготовления промышленностью.

В тех сравнительно редких случаях, когда оборудование для основных опытов оказывалось слишком сложным, дорогим и не могло быть рекомендовано средней школе, опыты заменялись кинофильмами. При этом содержание кинофильмов и методика их применения описаны в книге вместе с описанием опытов.

Кинофильмы и кольцовки рекомендуются и в тех случаях, когда они являются полезным дополнением к основному содержанию демонстрации.

При выполнении демонстрационного эксперимента следует соблюдать «Правила по технике безопасности для кабинетов (лабораторий) физики общеобразовательных школ», утвержденные Министерством просвещения СССР (М., 1976).

Разработка демонстраций и конструирование приборов выполнялись авторами книги в секторе обучения физике Института содержания и методов обучения АПН СССР.

Сборка установок проводилась в физических кабинетах средних школ № 315 Москвы и № 98 поселка Кратово Московской области. Это дало возможность описать все опыты с натуры и подавляющее большинство из них проверить с учащимися непосредственно в классной обстановке.

Чтобы учитель мог иметь ясное представление о самодельном оборудовании, в приложении приведен список самодельных приборов.

Отдельные части книги написали:

В. А. Буров — § 6 и введение к гл. III.

Б. С. Зворыкин — гл. I, § 7—9 гл. III.

А. П. Кузьмин — § 5 гл. II и опыт 92.

И. М. Румянцев — § 1—5 гл. III.

Работа по созданию пособия проведена под общим руководством А. А. Покровского, которым предложен план книги, разработана тематика демонстраций, написаны введение и глава II (за исключением § 5).

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

1. ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ И ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Учебный физический эксперимент в виде демонстрационных опытов и лабораторных работ является неотъемлемой, органической частью курса физики средней школы. Удачное сочетание теоретического материала и эксперимента дает, как показывает практика, наилучший педагогический результат.

Какие же методические задачи решаются с помощью учебного физического эксперимента?

Демонстрационные опыты, как известно, формируют накопленные ранее предварительные представления, которые к началу изучения физики далеко не у всех учащихся бывают одинаковыми и безупречными. На протяжении всего курса физики эти опыты пополняют и расширяют кругозор учащихся. Они зарождают правильные начальные представления о новых физических явлениях и процессах, раскрывают закономерности, знакомят с методами исследования, показывают устройство и действие некоторых новых приборов и установок, иллюстрируют технические применения физических законов. Все это конкретизирует, делает более понятными и убедительными рассуждения учителя при изложении нового материала, возбуждает и поддерживает интерес к предмету.

Лабораторные работы — фронтальные и в виде практикумов — дают возможность усовершенствовать, развить и углубить полученные ранее первоначальные представления. Кроме того, лабораторные работы развивают умения и навыки в обращении с аппаратурой, вырабатывают элементы самостоятельности при решении вопросов, связанных с экспериментом.

Демонстрации подготавливает и проводит учитель перед учащимися класса, т. е. перед аудиторией в 30—40 человек. Лабораторные работы подготавливает учитель, но выполняют учащиеся индивидуально или звеньями в 2—3 человека.

Очевидно, к демонстрационным опытам должны предъявляться иные требования, чем к лабораторным работам.

Различные цели, условия проведения и требования заставляют

строго отличать демонстрационные опыты от лабораторных. Нельзя допускать, чтобы лабораторные работы подменялись показом опытов на лабораторном оборудовании, а типичные демонстрационные опыты проводились бы как лабораторные работы на оборудовании для демонстраций.

В старших классах средней школы демонстрационный эксперимент имеет в настоящее время свою особенность по сравнению с младшими классами. Кроме обычных, общепринятых опытов по всем разделам курса физики и некоторым техническим применениям, в его содержание должны войти опыты, отражающие подготовку учащихся к практикумам, и опыты, представляющие собой экспериментальные задачи.

Типичным примером того, как проводится демонстрация, когда надо познакомить учащихся с работами практикума, служит опыт 82 «Устройство и применение психрометра и гигрометра» (с. 141). Здесь учитель не повторяет перед аудиторией лабораторную работу по определению влажности воздуха, как она должна выполняться учащимися, а лишь наглядно выявляет методы определения влажности. Выразительными средствами с применением проецирования он показывает всей аудитории особенности аппаратуры, предназначенной для лабораторной работы, и приемы обращения с ней.

Примеры постановки экспериментальных задач имеются в разных главах данного пособия. Наиболее типичные из них показаны в опыте 36 (с. 73). Перед учащимися собирают наглядную установку с подвешенным на нити грузом, вес которого известен (см. рис. 1—61). Затем необходимые расстояния измеряют демонстрационным метром. Требуется теоретически рассчитать натяжение нитей, а затем экспериментально проверить полученные результаты с помощью демонстрационного динамометра.

Демонстрации и лабораторные работы могут иметь качественный и количественный характер. Однако в случае, когда готовят количественные демонстрационные опыты, надо позаботиться о том, чтобы результаты измерений по возможности выражались негромоздкими целыми числами и не требовали много времени для вычислений.

Примером количественной демонстрации может служить опыт 58 (с. 109), раскрывающий закон Бойля — Мариотта. Здесь объем газа в условных единицах задается экспериментатором, а давление измеряется демонстрационным манометром. Для получения окончательного результата числа, выражающие объем и давление газа, легко перемножаются в уме (см. табл. на с. 110).

При подготовке демонстрационных опытов полезно помнить, что за различными уравнениями и вычислениями учащиеся могут упустить из вида природу тех явлений, которые описываются этими уравнениями. Надо укреплять в сознании учащихся, что источником познания служит эксперимент, и помогать выработке материалистического представления о физике как науке о реальной природе.

Хорошо известно, что процессы в природе протекают весьма сложно: все явления связаны между собой в один общий, многообразный поток и нет отдельных явлений в «чистом виде», как показывается в классе на уроках. Однако это не может служить отрицанием демонстрационных опытов — средства полезного и даже необходимого для обучения, а только заставляет предъявлять бо́льшие требования к учебному эксперименту. Чем тщательнее будет разработана методика и техника демонстраций, чем совершеннее, искуснее будут «заглушены» сопутствующие второстепенные явления, отвлекающие внимание учащихся от основного, тем выразительнее, убедительнее и нужнее демонстрационные опыты как средство обучения.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ДЕМОНСТРАЦИОННЫМ ОПЫТАМ

Демонстрационные опыты, как уже говорилось выше, проводятся в классе с 30—40 учащимися. Содержание опытов должно с полной ясностью доводиться до понимания каждого из присутствующих на уроке. Это заставляет предъявлять к таким опытам своеобразные методические и технические требования, которые в основном сводятся к следующему.

Размеры приборов, их расположение и освещение должны всегда обеспечивать достаточную видимость (обозреваемость) основных частей и деталей установки для всех учащихся со всех мест класса. Без этого опыт теряет свое значение, становится бесполезным и чаще всего приводит сначала к нарушению дисциплины, а затем к потере интереса. Необходимая видимость достигается соответствующим конструированием приборов, правильным расположением их в установках, а также применением подходящего фона, подсвета, различных способов и приемов проецирования и сопоставлением начального и конечного состояний опыта.

Следует позаботиться о наглядности и выразительности опытов, чтобы каждый ученик непременно заметил демонстрируемое явление. Для этого следует собирать по возможности наиболее простые установки, в которых четко, как бы само собой, выделялись основные части. Надо применять яркую, контрастную раскраску деталей приборов, выбирать для каждого случая наиболее подходящие индикаторы, стремиться к получению максимальной интенсивности демонстрируемых явлений.

Опыты должны быть всегда убедительными, не вызывать каких-либо сомнений в их справедливости и не давать повода к неправильному толкованию. Поэтому все побочные явления, сопровождающие основное, должны быть сведены к минимуму, сделаны незаметными и не отвлекающими внимания от главного. Если такие условия по тем или иным причинам создать невозможно, то подготавливают дополнительный опыт, показывающий незначительное влияние побочного явления на результаты основного опыта.

Каждый опыт, показываемый в классе, должен быть надежным, т. е. тщательно подготовленным, неоднократно испытанным, обеспечивающим удачу. Неудавшаяся демонстрация нарушает ход урока, всегда вызывает разочарование и даже может зародить недоверие к учителю.

Демонстрации должны производить действие не только на умственное восприятие, но и на воображение учащихся, возбуждать у них интерес, чтобы можно было по ходу урока быстро мобилизовать общее внимание класса на некоторые небольшие промежутки времени. Поэтому надо показывать опыты эмоционально.

Как правило, демонстрационные опыты должны отличаться кратковременностью, чтобы не затягивать урока. Учителю необходимо обращать внимание на темп выполнения опытов: он всегда должен соответствовать темпу восприятия учащимися демонстрируемого материала. В случае необходимости опыт можно повторить несколько раз, например: когда надо устранить предположение о случайности показанного явления (определение ускорения при свободном падении) или когда не все учащиеся успевают увидеть необходимые детали (опыт с трубкой Ньютона).

Каждый из показываемых опытов должен быть содержательным, хорошо и изящно оформленным.

При подготовке и проведении опытов надо стремиться к минимальной затрате средств и энергии при максимальной методической ценности эксперимента и обязательно соблюдать общеизвестные, описанные в литературе, правила по технике безопасности[1].

Нельзя перегружать урок большим числом демонстраций и создавать впечатление калейдоскопичности.

Во время изложения учебного материала подготовленными для эксперимента установками можно воспользоваться различно: сначала показывать опыты, а потом переходить к их объяснению или, наоборот, перед опытом проводить относящиеся к нему объяснения. В большинстве случаев первый способ оказывается лучшим. Он позволяет от наблюдения за опытом (или несколькими связанными между собой опытами) подвести учащихся сначала к некоторым самостоятельным несложным выводам, а затем и к более широким теоретическим обобщениям. Однако в некоторых отдельных случаях, когда, например, установка для опыта сложна, второй способ оказывается целесообразнее: установка или сложный прибор объясняют по частям, а затем они приводятся в действие (измерение скорости движения; изменение веса тела при равнопеременном движении и др.).

Наилучшим в методическом отношении является такое решение, когда объяснения проводятся параллельно с экспериментом.

---

[1] См.: Учебное оборудование по физике в средней школе. Под ред. А. А. Покровского. М., 1973, с. 453.

Объяснения и эксперимент логически сливаются в общий неразрывный процесс в виде увлекательной и убедительной беседы учителя с учащимися.

Демонстрационные опыты в средней школе чаще всего подготавливает и показывает на уроке сам учитель. Однако в ряде случаев ему требуется помощник — лаборант. Там, где лаборанта нет, надо привлекать для помощи одного-двух учеников, наиболее способных к такой работе, и постепенно воспитывать из них лаборантов. Это помогает развитию учащихся и приносит пользу делу.

3. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ОПЫТОВ

Методика учебного физического эксперимента и его техника почти неразрывны. Между ними трудно наметить ясную границу, поэтому целесообразно рассматривать их вместе. Различать же следует методику и технику подготовки эксперимента от методики его применения в учебном процессе.

Когда ставится вопрос о том, в каком месте урока следует показать тот или иной опыт или провести лабораторную работу, чтобы наряду с другими приемами подчеркнуть, раскрыть и сделать более убедительным изучаемый материал, то речь идет вообще о методике преподавания физики. Эксперимент в этом случае предполагается в законченном, отработанном виде, как готовое звено, которое вводится в том или ином месте учебного процесса.

Совсем другой, более конкретной и узкой становится задача, когда отрабатываются отдельные демонстрационные опыты или лабораторные работы, т. е. когда решается задача, как вообще целесообразнее проводить эти опыты в классе, как следует изменить и приспособить эксперимент к заранее заданным условиям. Здесь на первый план выступает методика и техника эксперимента.

Допустим, что намечено изучить закон Бойля — Мариотта. С этой целью подбираются, например, демонстрационный опыт с сильфоном и техническим манометром (см. опыт 58) и соответствующий лабораторный опыт. Решают вопросы: с чего начинать изучение — с лабораторной работы или с демонстрационного опыта? Как лучше поступить — показать опыт и из наблюдений сделать вывод о закономерности или сначала рассказать и объяснить суть дела, пользуясь схематическими чертежами на классной доске, а затем опытом проиллюстрировать сказанное? Вычерчивать ли график зависимости объема от давления по данным результатов демонстрационного опыта или давать график отдельно? Легко видеть, что здесь методика и техника эксперимента отсутствуют вовсе, а решаются общеметодические вопросы.

Но как только будет обращено внимание на постановку каждого опыта, на сочетание приборов в установке, на их расположение, то сейчас же придется решать ряд совсем других вопросов: о порядке демонстрирования (с какого давления удобнее начинать опыт — больше или меньше атмосферы); о выделении во время наблюдения

самого главного, основного (сильфона с винтовым прессом и технического манометра); на чем прежде всего надо сосредоточить внимание учащихся (измерение объема и давления по соответствующим шкалам с допустимыми погрешностями); что должно оставаться в тени как второстепенное (соединительные трубки) или совсем выключено из внимания учащихся (шарнирное устройство у винтового пресса) и т. д. Вот это и есть предмет методики и техники постановки и проведения эксперимента, которым в этой книге уделено основное внимание и которые представлены в описании каждого опыта. Методика же применения эксперимента в процессе обучения лишь намечена; она выражена главным образом в подборе и последовательности расположения опытов в каждом из параграфов.

В средней школе применяют два способа восприятия демонстрационных опытов учащимися, поэтому существует та или иная методика эксперимента. Один из способов можно считать основным; он состоит в подготовке и показе установок и опытов для непосредственного обозрения. Другой же заключен в проецировании тех или иных приборов и опытов на экран для наблюдения за их изображениями.

При подготовке опытов для непосредственного обозрения, как правило, пользуются специально сконструированными для этой цели демонстрационными приборами. Сюда относятся и измерители, и индикаторы, и приборы на отдельные темы. Они отличаются от других приборов достаточными размерами, наглядным расположением наиболее важных частей, контрастной раскраской деталей, выразительными шкалами, большими стрелками-указателями и т. п. В этих приборах заранее предусмотрено обеспечение основного требования — видимости.

Однако при монтировании установок, в которых применяется несколько приборов, нередко приходится дополнительно прибегать к различным техническим приемам, чтобы демонстрация полностью отвечала перечисленным ранее требованиям (см. § 2). Эти приемы сводятся к следующему:

1) выбору плоскости расположения приборов — вертикальной или горизонтальной;

2) применению освещения и фона — черного, белого или матового просвечивающего;

3) подбору подходящих индикаторов для наилучшего выявления наблюдаемого процесса.

Обычно установки монтируются с помощью штативов и подставок в вертикальной плоскости, т. е. в наиболее удобном расположении для обозрения (см., например, рис. 1—23, 1—32, 1—48). При этом стремятся выявить главное и убрать лишние, отвлекающие внимание детали, т. е. сделать установку вполне доступной для понимания при минимальном пояснении учителя.

В редких случаях, когда по условиям опыта такое вертикальное размещение невозможно и установка располагается в плоскости крышки стола, то применяют плоское зеркало достаточных разме-

ров. Его берут с двух сторон и располагают над установкой под углом к плоскости стола, близким к 45°. Чтобы изображение установки могли увидеть все учащиеся, зеркало, не меняя угла наклона, медленно повертывают вокруг вертикальной оси сначала в одну, а затем в другую сторону (рис. 1).

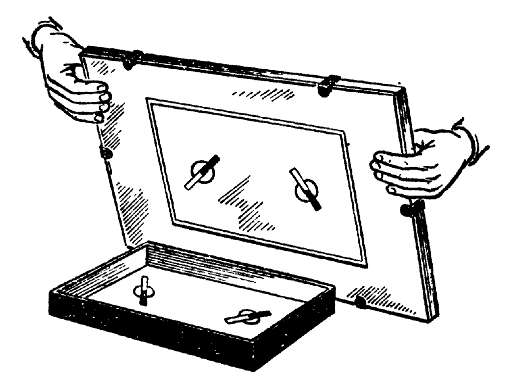


Рис. 1. Демонстрация приборов и опытов с помощью плоского зеркала.

Иногда при сборке установки без второстепенных деталей обойтись нельзя. Тогда стремятся сделать так, чтобы они были менее заметными, а основное в наблюдаемом опыте выделялось резче. С этой целью применяют соответствующий фон. Например, черный штатив на фоне классной доски становится мало заметным для учащихся, а демонстрационный манометр с белой шкалой, наоборот, будет четко выделяться. Если эти предметы рассматривать на белом фоне, то картина будет обратной.

Большое значение для увеличения видимости имеет освещение. При ярком боковом освещении и сравнительно мелкие детали становятся хорошо заметными: пылинки, дым, пары — в воздухе; частицы краски, пузырьки воздуха — в жидкости. Кроме того, пучком света можно сосредоточить внимание учащихся на самых главных частях установки. Например, бывает полезно применить иногда дополнительное освещение (подсвет) того или иного измерительного прибора, чтобы при выполнении опыта даже незначительное перемещение стрелки по шкале заметили все учащиеся в классе.

Для выразительности опытов имеет значение подбор индикаторов, по которым судят о протекаемом явлении. Индикаторами могут служить: электронный осциллограф, стрелочные измерительные приборы, электрическая лампочка, окрашенная жидкость, пламя, дым, пар, пузырьки газа в жидкости, звук и т. д.

Предпочтительнее, особенно в начале обучения физике, пользоваться индикаторами первичными. Например, всем известно, что нагревание зачастую приводит к воспламенению. Поэтому вспышка в воздушном огниве (опыт 68) ни у кого не вызывает сомнения в нагревании воздуха при быстром сжатии. Если же для этого опыта применить в качестве индикатора термопары с гальванометром, что вполне возможно, то учащимся предварительно надо показать факт получения тока при нагревании термопары.

Другой пример. В опыте 103 (см. рис. 2-111) удлинение и сокращение проволоки показывается при помощи блока со сравнительно

длинной стрелкой, перемещающейся по шкале. Очевидно, здесь можно воспользоваться и пучком света, а об изменении длины проволоки судить по перемещению «зайчика» на экране. Второе было бы менее целесообразным потому, что сложнее и требует предварительных знаний об устройстве и действии «оптического рычага».

Однако в старших классах средней школы, где связи между многими основными явлениями учащимся уже знакомы, подбор индикаторов значительно упрощается. В крайнем случае им показывают такие связи предварительно, а затем на этом основании применяют и индикатор. Таким образом вводится, например, электронный осциллограф до изучения подробностей его устройства и действия.

Ко второму способу показа опытов — проецированию — приходится прибегать главным образом потому, что некоторые необходимые для изучения явления протекают в очень малых масштабах и увеличить их не представляется возможности (мыльные пленки, капиллярные явления, рост кристаллов и т. д.). Кроме того, проецированием пользуются, когда надо в увеличенном масштабе показать всем учащимся миниатюрный прибор, рисунок, схему, чертеж.

Обычно применяют следующие виды проецирования: вертикальную и горизонтальную диапроекции, эпипроекцию и теневую проекцию. Все они обеспечиваются специальной проекционной аппаратурой и отдельными приборами для диапроекции. Последние изготавливают из прозрачных материалов (чаще из органического стекла) и имеют малые размеры: контуры этих приборов должны вписываться в плоскость линзы конденсора проекционного аппарата.

Особое место занимает среди диаскопического проецирования микропроекция. В курсе физики средней школы к ней приходится прибегать сравнительно редко, и специального приспособления для этой цели Главучтехпром в настоящее время не изготовляет. Однако микропроекцию можно получить без каких-либо сложных приспособлений, воспользовавшись одним из выпускаемых в настоящее время микроскопов — школьным или биологическим и типичным для средней школы проекционным аппаратом ФОС-115 (см. § 5).

Значительно проще эпископическое и теневое проецирование. Первое из них проводится с помощью выпускаемого Главучтехпромом эпидиаскопа, который позволяет показывать на экране с необходимым увеличением графические материалы из книг и журналов, небольшие плоские приборы, а также диапозитивы.

Для второго (теневого) проецирования достаточно иметь закрытый от аудитории источник света, близкий к точечному (электрическая автомобильная лампочка, электрическая дуга), и экран. Расстояние от источника света до проецируемого объекта и экрана подбирают экспериментально: увеличенное теневое изображение должно не выходить за пределы экрана и быть достаточно резким, чтобы можно было видеть все детали.

4. ОБОРУДОВАНИЕ КЛАССА-АУДИТОРИИ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ОПЫТОВ

Серьезные требования, которые в настоящее время предъявляются к учебному эксперименту по физике, заставляют иметь в физическом кабинете каждой средней школы специальное оборудование для проведения демонстраций. Без такого минимального основного оборудования можно показать лишь немногие из обязательных опытов, описанных в этой книге.

Центральным местом, где проводятся демонстрационные опыты в классе-аудитории, служит демонстрационный стол размером приблизительно 300×80 см и высотой 80 см. Для удобства обозрения стол приподнимается над полом на 25—30 см, т. е. устанавливается на небольшой помост (рабочее место учителя) перед настенной классной доской (рис. 2).

К столу с одной стороны должен быть подведен электрический ток, с другой — водопровод с раковиной и сливом, а в середине стола под крышкой — газ с двойным краном. Ток нужен переменный и постоянный 127 или 220 В с возможностью плавного регулирования напряжения от нуля до максимума. С этой целью пользуются распределительным щитом или заменяющим его переносным блоком электропитания (мощностью около 2 кВт). Кран водопровода следует поместить немного выше крышки стола и иметь для него насадку, позволяющую надевать резиновые трубки разного диаметра. Газ используется главным образом для нагревания и может быть заменен другим источником тепла, если в школьном здании нет ввода газа. Можно обойтись с меньшим удобством и без

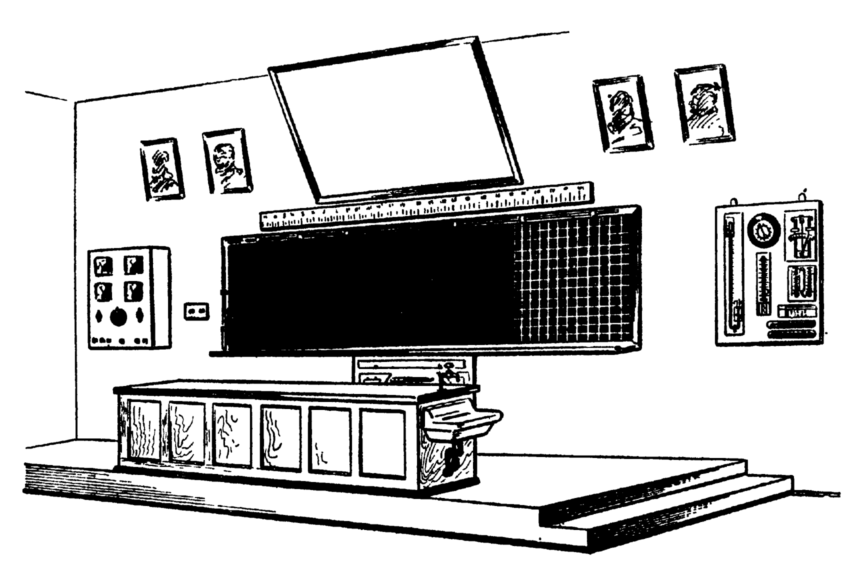


Рис. 2. Оборудование класса-аудитории для демонстрации опытов.

водопровода, если воспользоваться небольшим баком с отводной резиновой трубкой и ведром для слива воды.

Вблизи от демонстрационного стола следует разместить управление шторами для затемнения окон, выключатель электрического освещения класса-аудитории и дистанционное включение и выключение кинопроектора.

Проекционный экран размером приблизительно 160×140 см удобнее всего иметь постоянный, несвертывающийся, подвешенный наклонно над классной доской. На него можно проецировать приборы и диапозитивы проекционным аппаратом, помещенным прямо на демонстрационном столе, и кинофильмы киноаппаратом, расположенным в конце класса на специальном столике.

На этот экран проецируются в виде тени и волны на воде. С этой целью в середине стола (со стороны классной доски), в его подстолье, монтируют две прочные выдвижные рейки. На них во время опыта и устанавливают волновую ванну со стеклянным дном, а под ней — «точечный» источник света. Если ванна новой конструкции с вложенным на дно плоским зеркалом, то волны демонстрируют на экран прямо со стола.

В некоторых школах имеются саморегулирующиеся по вертикали (подвесные) зеркальные гальванометры высокой чувствительности. Такой гальванометр целесообразно установить на задней стене класса-аудитории и осветитель наладить так, чтобы достаточно яркий «зайчик» от поворачивающегося зеркала падал на шкалу, расположенную на стене между классной доской и проекционным экраном, как показано на рисунке 2. Шкала вставляется в пазы и может в них легко передвигаться для удобства установки на нуль.

От зажимов гальванометра и от осветителя следует сделать проводку к небольшому щитку, расположенному рядом с классной доской, чтобы можно было пользоваться гальванометром с рабочего места учителя. На этом щитке удобно сосредоточить и выключатель электрического освещения, о котором говорилось выше.

Если такого гальванометра в школе нет, то его с успехом может заменить переносный чувствительный демонстрационный гальванометр М1032 (см. с. 98). Он не требует какой-либо специальной установки, всегда готов к работе и может применяться почти при полном освещении аудитории.

В демонстрационном столе полезно иметь два небольших шкафчика и один выдвижной ящик, сделанный по стандартным размерам учебных стенных таблиц. В шкафчиках следует хранить набор глухих ящиков-подставок разного размера, которые бывают необходимы для удобного расположения приборов в различных установках и особенно при сборке электрических цепей (рис. 3). В ящике же стола удобно помещать учебные таблицы, приготовленные для данного урока. Во время рассказа учителя таблицы поочередно вынимают из стола и с помощью зажимов подвешивают на классной доске. С этой целью и для некоторых опытов, протекающих в пло-

скости классной доски, над ней надо укрепить по всей длине круглый металлический пруток или трубку с передвижными зажимами.

Сбоку классной доски (на ее раме) хранится указка, ее вставляют в вертикальном положении в пружинящие зажимы. Под доской (между ее рамой и полом) подвешивают небольшую деревянную панель, на которой располагают классные чертежные инструменты: линейку, угольники, транспортир и циркуль (рис. 4).

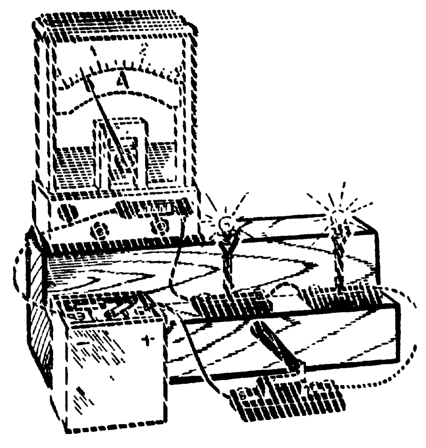


Рис. 3. Демонстрационная установка с применением ящиков-подставок.

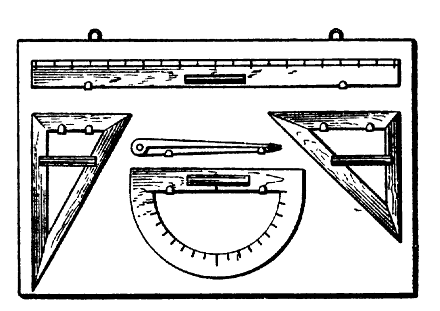


Рис. 4. Панель с классными чертежными инструментами.

Таким образом, на своем рабочем месте учитель может свободно пользоваться электрическим током, водой, газом, затемнением окон, электрическим освещением, проекционным экраном, классными чертежными принадлежностями. Он может с удобством собирать все необходимые установки, применять различные виды диапроекции и учебные таблицы.

При таком общем оборудовании лишь в редких случаях приходится прибегать к приборам вне рабочего места учителя. Например, для эпипроекции приходится располагать эпидиаскоп во втором ряду ученических столов (считая от демонстрационного стола), чтобы проецируемое изображение уложилось на наклонном экране; или устанавливать небольшой переносный экран вдали от демонстрационного стола для получения на нем спектра должного размера, когда пользуются призмой прямого зрения; или собирать установку с диполем в другом конце класса-аудитории для приема сигнала от генератора электромагнитных колебаний.

В основном оборудовании класса-аудитории физического кабинета иногда применяют некоторые автоматические устройства. Можно, например, смонтировать затемнение так, чтобы шторы закрывались и открывались с помощью электродвигателя и при этом автоматически включалась и выключалась сигнальная лампочка или полное электрическое освещение. Можно с помощью электродвигателя опускать и поднимать проекционный экран и при этом автоматически включать эпидиаскоп, проекционный аппарат или

кинопроектор. Можно сделать приспособление для автоматической смены диапозитивов в проекционном аппарате и др. Однако надо иметь в виду, что всякое, даже не очень сложное, автоматическое устройство связано со значительными материальными затратами. Любое автоматическое приспособление должно работать в школьных условиях безукоризненно и служить примером для пропаганды идеи автоматизации. Следовательно, такое приспособление должно быть выполнено отлично, из первоклассных материалов и обеспечено надлежащим уходом. Поэтому вводить автоматику в основное оборудование школьного физического кабинета можно только в случае, когда в этом есть настоятельная необходимость и возможно выполнение указанных выше условий.

Все описанное здесь дает лишь общее представление об основном оборудовании, которое надо иметь в физическом кабинете. Очевидно, кроме этого, необходим полный комплект демонстрационных приборов по всем разделам курса физики. Это оборудование с необходимой подробностью и указанием характеристик описано в специальной литературе[1]. Вновь же сконструированные и пока мало известные учителям приборы описаны в данной книге. Это сделано в начале отдельных глав и параграфов или в самих описаниях опытов, где применяются новые приборы.

5. ПРИБОРЫ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ РАЗДЕЛОВ КУРСА

К общим приборам, которые применяются в демонстрационных опытах всех разделов курса физики, относятся: проекционный аппарат, эпидиаскоп, осветитель для теневого проецирования и подсвета, настольный экран. Эти приборы подробно описаны в методической литературе, поэтому ограничимся здесь лишь некоторыми замечаниями.

Проекционный аппарат ФОС-115. Для получения прямого изображения на наклонном экране объектив аппарата снабжен плоским зеркалом. Однако значительно удобнее вместо зеркала пользоваться так называемой оборотной призмой (рис. 5). Поэтому, если представится возможность, надо сделать такую замену. Кроме того, необходимо дополнительно приобрести дуговую лампу и ртутную лампу ПРК, помещенную в корпусе с фильтром, пропускающим ультрафиолетовые лучи. Эти приборы приспособлены для установки в рейтеры на скамье проекционного аппарата, но продаются отдельно.

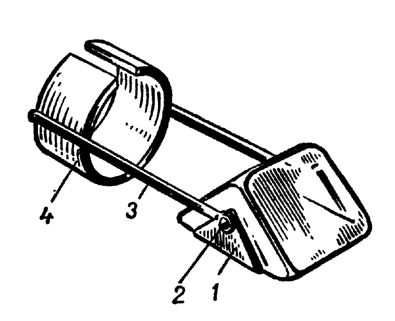


Рис. 5 Оборотная призма в оправе: 1 — обойма; 2 — ось; 3 — планка; 4 — кольцо для посадки на объектив.

[1] Учебное оборудование по физике в средней школе. Под ред. А. А. Покровского. М., 1973.

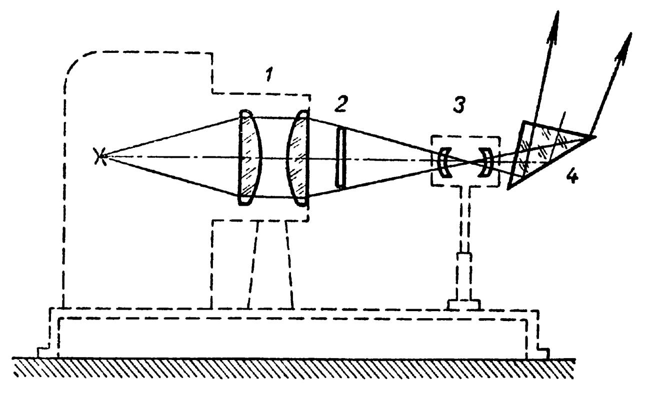


Рис. 6. Схема установки для вертикальной проекции:
1 — конденсор; *2* — предмет; *3* — объектив;
4 — оборотная призма.

Установку для вертикальной диапроекции различных приборов собирают из деталей проекционного аппарата по схеме, показанной на рисунке 6. Источник света помещается в главном фокусе первой линзы конденсора. Лучи света преломляются в ней и параллельными пучками падают на вторую линзу. Здесь они снова преломляются и выходят из конденсора в виде светового конуса.

Проецируемый объект устанавливают перед конденсором вертикально на таком расстоянии, чтобы световой конус освещал его полностью. Затем, перемещая объектив вдоль оптической оси конденсора, получают на экране достаточно резкое, но обратное изображение объекта.

Чтобы получить изображение прямое, на объектив надевают оборотную призму, которая должна охватывать своей гранью весь пучок света, выходящий из объектива. Если использовать вертикально расположенный экран, прямое изображение удобно получать с помощью выпускаемого промышленностью специального объектива, у которого внутри корпуса вмонтирована малая оборотная призма. С меньшим удобством прямое изображение можно получить и с помощью плоского зеркала вместо призмы. Тогда установку собирают по рисунку 7.

Для горизонтальной диапроекции аппарат перестраивают и установку собирают по схеме, показанной на рисунке 8. Она отличается от предыдущей лишь тем, что параллельные пучки света, выходящие из первой линзы конденсора, направляются на плоское зеркало, отражаются от него и попадают во вторую линзу, расположенную теперь горизонтально. Эту линзу накрывают предохраняющей стеклянной пластинкой, а на ней в горизонтальном положении располагают объект.

Чтобы получить микропроекцию с помощью проекционного аппарата, установку собирают по схеме, показанной на рисунке 9. При этом микроскоп крепят на скамье аппарата с помощью просто-

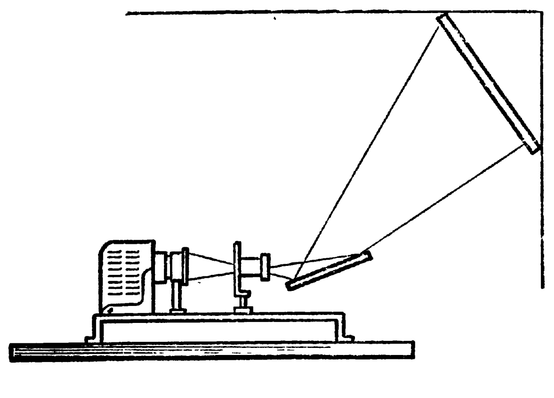


Рис. 7. Схема установки для получения на экране прямого зеркального изображения.

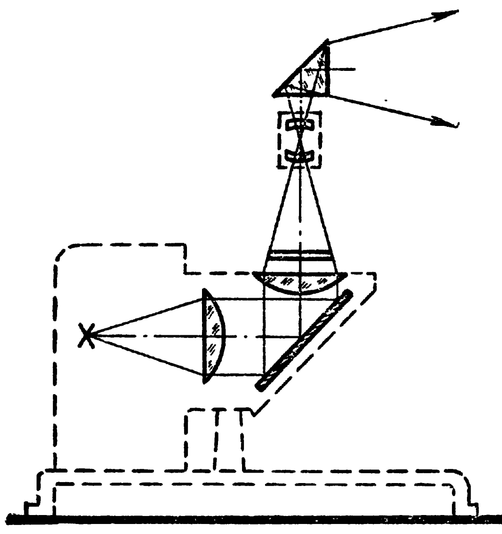


Рис. 8. Схема установки для горизонтальной диапроекции.

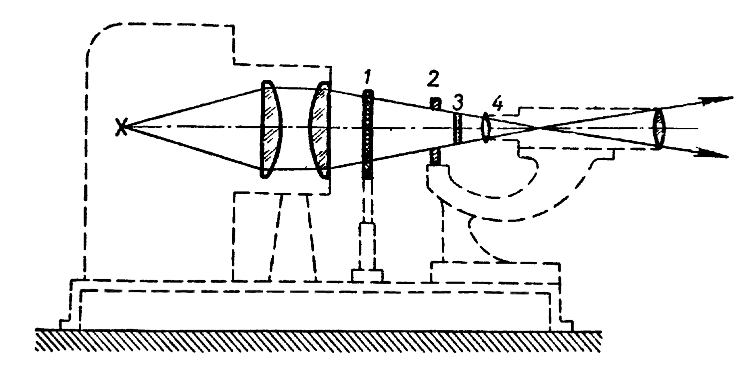


Рис. 9. Схема установки для вертикальной микропроекции:
1 — тепловой фильтр; *2* — предметный столик; *3* — предмет; *4* — объектив микроскопа.

го столика, прилагаемого к прибору. Внешний вид собранной таким образом установки показан далее (рис. 2-89).

Эпидиаскоп Главучтехпрома, выпускаемый для средней школы, схематически представлен на рисунке 10. У эпидиаскопа рефлектор *1* может перемещаться. Когда он находится в положении, показанном на рисунке сплошными линиями, прибор служит в качестве эпископа. Свет от лампы и отраженный от рефлектора падает на находящийся внизу откидной столик с расположенным на нем плоским предметом *2*, отражается от него и с помощью плоского зеркала *3* направляется в объектив *4*. На экране получается изображение предмета.

Если рефлектор перевести в другое положение, показанное на рисунке пунктиром, то прибор становится диапроектором. Свет от лампы направляется в конденсор *5*, освещает диапозитив и попадает в объектив *6*, а затем на экран.

Управление эпидиаскопом очень простое. Надо только заранее правильно установить и закрепить лампу: ее спираль должна помещаться в главном фокусе линзы конденсора.

К эпископическому проецированию иногда приходится прибегать и без эпидиаскопа, например при проецировании на экран в отраженном свете мыльных пленок, зеркальной поверхности гигрометра и др. В таком случае установку собирают по схеме, показанной на рисунке 11.

Осветитель простой конструкции (рис. 12), предназначенный для теневого проецирования, относится к числу самодельных приборов. Он с успехом может применяться для подсвета, а также в опытах с инфракрасными лучами.

Осветитель состоит из жестяного корпуса *1* в виде небольшого цилиндра с отверстием на боку, автомобильной лампы типа А-20 (6 В) с патроном *2*, съемной цилиндрической диафрагмы *3*, имеющей три отверстия разного диаметра, и съемного вогнутого зеркала-рефлектора *4*, позволяющего получать почти параллельный пучок лучей.

В верхней части цилиндрической диафрагмы имеется отверстие, предназначенное для вентиляции и охлаждения лампы. Ниже под этим отверстием помещена круглая пластинка, загораживающая прямой выход света от лампы наружу.

Корпус осветителя укреплен на толстостенной металлической трубке, что дает возможность зажимать прибор в муфте штатива в различных положениях. Через эту трубку к патрону подводится шнур с вилкой на конце.

Экран настольный, переносный, размером 50×35 см (рис. 13) находит широкое применение в физическом кабинете при настройке опытов и во время демонстрации установок, для которых служит фоном. Прибор состоит из рамки, внутри которой натянута полупрозрачная хлорвиниловая пленка, и двух легко вынимаемых фанерных филенок, которые защищают пленку с обеих сторон. Одна из них покрыта черной матовой краской, а другая — белой. Без

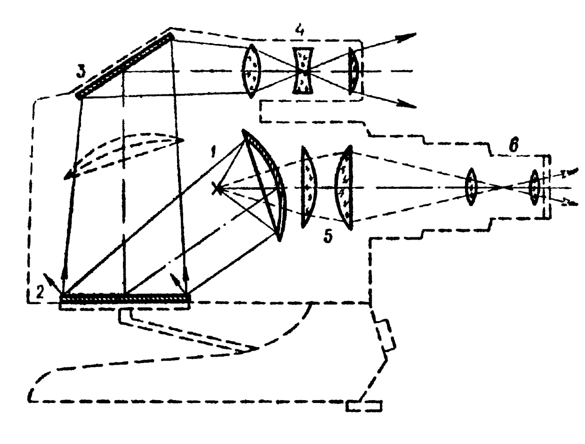


Рис. 10. Схема эпи- и диапроекции в эпидиаскопе:

1 — лампа с рефлектором; *2* — предмет; *3* — плоское зеркало; *4* — объектив для эпипроекции; *5* — конденсор; *6* — объектив для диапроекции.

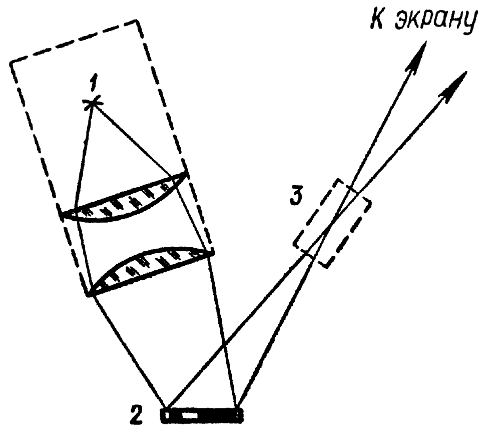


Рис. 11. Схема установки для эпипроекции:

1 — осветитель с лампой и конденсором; *2* — предмет; *3* — объектив.

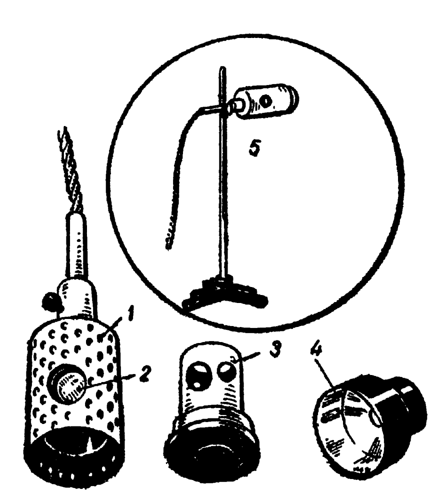


Рис. 12. Осветитель для теневого проецирования и подсвета:

1 — корпус осветителя; *2* — автомобильная лампа; *3* — цилиндрическая диафрагма; *4* — вогнутое зеркало-рефлектор; *5* — осветитель на штативе.

филенок при ярком заднем освещении хлорвиниловая пленка становится удобным фоном для рассматривания предметов «на просвет» (окраска жидкостей, цветное стекло и т. д.).

Экран имеет одну ножку, которая позволяет ставить его вертикально в двух положениях — широкой или узкой стороной, — в зависимости от установки, для которой экран служит фоном.

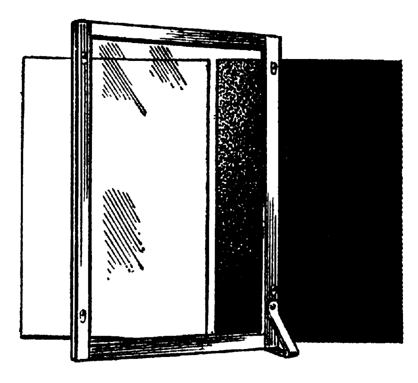


Рис. 13. Экран для черного, белого и просвечивающего фонов.

Кроме описанных, есть и другие приборы общего назначения. Почти все они относятся к числу вспомогательных в физическом кабинете. Из таких приборов больше других получили распространение графпроектор (кодоскоп) и диапроектор «Свет» (их схемы показаны на рисунках 14 и 15).

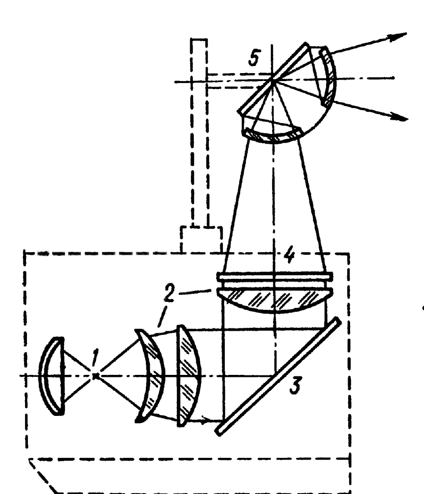


Рис. 14. Схема графпроектора:
1 — лампа с рефлектором; 2 — конденсор из трех линз; 3 — плоское зеркало; 4 — предмет; 5 — объектив с плоским зеркалом.

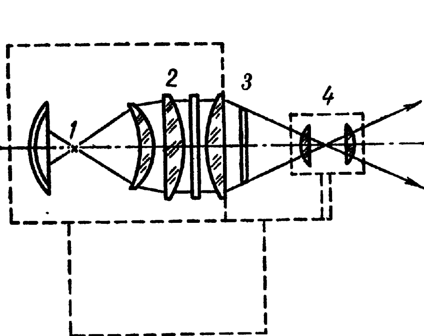


Рис. 15. Схема диапроектора «Свет»:
1 — лампа с рефлектором; 2 — конденсор из трех линз и с тепловым фильтром; 3 — предмет; 4 — объектив.



МЕХАНИКА

При изучении законов кинематики и динамики необходим демонстрационный прибор, на котором можно получить прямолинейное движение тела и каким-либо способом отмечать положения тела через равные промежутки времени. Этот прибор должен давать возможность учитывать или исключать из расчетов трение, измерять расстояния, действующую силу и массу тела. Трудности, связанные с осуществлением этих условий, привели к созданию большого числа приборов по кинематике и динамике, которые легко поддаются классификации по немногим важнейшим признакам. В основном они отличаются выбором движущегося объекта и способом определения его положения через равные промежутки времени. В одних приборах используются тележки, движущиеся по рельсам, в других — грузы на нити, перекинутой через блок, в третьих — шарик (каток), катящийся по желобу.

Гораздо разнообразнее способы определения положения тела в заданные моменты времени и выбор измерителя времени. Известны способы, при которых положение тела на неподвижной плоскости отмечается через равные промежутки времени падающими каплями, колеблющейся упругой пластинкой, вращающейся кисточкой, электрической искрой или дугой. Применяют также непрерывную запись движения тела на равномерно движущихся ленте, щите или цилиндре.

В некоторых приборах положение тела в заданные моменты определяется остановкой его в эти моменты посредством специальной задержки.

Наиболее совершенный из современных приборов по кинематике и динамике прямолинейного движения — прибор с применением воздушной подушки. Однако промышленностью пока он не выпускается, а для массового изготовления в школах не подходит, так как требует большой точности выполнения.

В настоящее время многие школы располагают демонстрационным прибором по кинематике и динамике с непрерывной за-

писью движения на вращающемся цилиндре. К сожалению, этот прибор выпускался и поступал в продажу с большими дефектами. Поэтому в опытах, описанных ниже, используются от этого прибора лишь рельсовая дорога и тележки, а для записи применяется широко известная самодельная капельница, которая дает вполне удовлетворительные результаты и доступна для изготовления в любой школе. Вместо этого прибора могут применяться и другие аналогичные приборы с различными отметчиками времени.

Для других опытов по механике применяют приборы, выпускаемые промышленностью и имеющиеся в школах, а также некоторые самодельные приборы и установки. Первые подробно описаны в пособии «Учебное оборудование по физике в средней школе» (М., «Просвещение», 1973). Самодельные же приборы (см. их перечень в конце книги) и некоторые новые приборы, подготовленные к промышленному производству, описаны в соответствующих опытах.

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КИНЕМАТИКИ

ОПЫТ 1. РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Оборудование: 1) прибор по кинематике и динамике с капельным записывающим устройством, 2) циркуль-измеритель демонстрационный.

Опыт должен служить иллюстрацией к определению равномерного движения, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.

Установка для проведения опыта представляет собой рельсовый путь с тележкой, на которой установлена капельница с разбавленной водой тушью или чернилами для авторучки. Рядом с рельсами уложена линейка с полоской бумаги, у концов которой поставлены две ванночки для улавливания капель в начале и конце движения тележки.

Перед опытом левый конец рельсового пути приподнимают посредством специального винта так, чтобы после нескольких проб составляющая силы тяжести, действующая на тележку в направлении движения, уравновешивала силу трения. При этом тележка, установленная в начале пути, после небольшого толчка будет двигаться равномерно.

В предстоящем опыте для разгона тележки вместо подталкивания рукой лучше воспользоваться небольшим наклонным лотком, изображенным на рисунке 1-1. Переставляя на лотке стержень с одной пары отверстий на другую, можно менять угол наклона лотка, от чего будет изменяться пусковая скорость тележки. Тележка, поставленная на этот лоток задними колесами, скатывается с него с ускорением и далее катится равномерно со скоростью, которая задана углом наклона и длиной лотка.

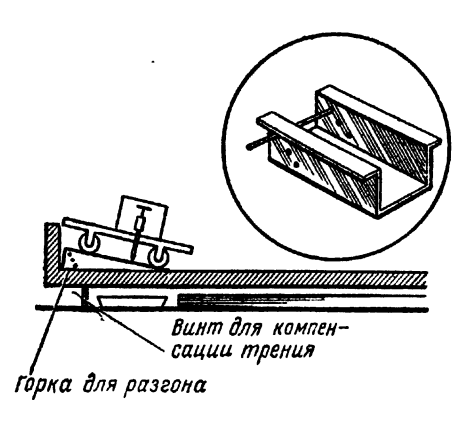


Рис. 1-1. Установка для записи равнопеременного движения.

Когда прибор подготовлен, тележку с капельницей ставят в исходное положение и приоткрывают кран капельницы, добиваясь падения капель с промежутком времени около $1/2$ с. Скатившись с лотка, тележка двигается равномерно, оставляя на полоске бумаги капли туши. После записи движения циркулем-измерителем на полоске показывают сначала равенство перемещений тележки в каждые $1/2$ с, затем в каждую секунду, 2 с и т. д.

Практические замечания

Сосуд для изготовления капельницы следует подобрать широкий и низкий. Во-первых, это увеличит устойчивость капельницы, а во-вторых, будет способствовать постоянству частоты падения капель. Проще всего для изготовления капельницы воспользоваться консервной банкой.

На конец крана с помощью короткого отрезка резиновой трубки надо надеть трубку с оттянутым концом (от глазной пипетки). Конец пипетки должен быть на высоте не более 15 мм над бумажной лентой.

Даже при хорошей обработке рельс и колесных пар совсем небольшие толчки при движении тележки могут нарушить равномерность падения капель. Поэтому на тележку под капельницу следует поместить подкладку из поролона.

Линейку для записи надо размещать с поперечным наклоном под таким углом, чтобы капли не стекали и были видны учащимся (рис. 1-2). Если записи предполагается сохранять, то их надо делать на полоске бумаги, прикрепленной к линейке. В других случаях запись производят на поверхность линейки, покрытую белой эмалевой краской, и стирают влажной тряпкой.

ОПЫТ 2. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Оборудование: 1) прибор по кинематике и динамике с электрогенератором, 2) гальванометр демонстрационный, 3) шнур соединительный, 4) циркуль-измеритель демонстрационный, 5) метр демонстрационный.

Перед учащимися располагают полоску бумаги с отметками, полученными в предыдущем опыте, и одному из учащихся предлагают по записи движения определить скорость тележки. Ученик, пользуясь циркулем-измерителем и демонстрационным метром,

измеряет расстояние между различными парами отметок. Затем, зная величину промежутка времени между моментами падения двух капель, делит измеренные перемещения на время. В результате получаются приблизительно одинаковые числа. Например:

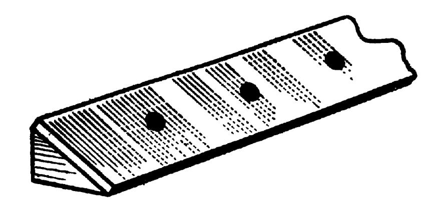


Рис. 1-2. Расположение линейки для записи движения каплями.

$$\frac{8\ \text{см}}{0,5\ \text{с}} = 16\,\frac{\text{см}}{\text{с}};\quad \frac{24\ \text{см}}{1,5\ \text{с}} = 16\,\frac{\text{см}}{\text{с}};\quad \frac{56\ \text{см}}{3,5\ \text{с}} = 16\,\frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

На основании полученных результатов делают заключение: тележка двигалась равномерно со скоростью $v = 16$ см/с.

Скорость измеряется длиной пути, пройденного телом в единицу времени. Однако при введении понятия о скорости движения обычно подчеркивают, что путь и скорость есть величины разнородные. Это хорошо подтверждается на опыте с применением спидометра, который показывает величину скорости движения без учета пройденного пути.

Для ознакомления с принципом действия спидометра одну из колесных пар тележки соединяют фрикционной передачей со шкивом миниатюрного электрогенератора. К зажимам генератора присоединяют гибкий шнур длиной около 1,5 м. Свободные концы шнура подводят под зажимы демонстрационного гальванометра, настроенного на измерение постоянного тока. Чтобы шнур не мешал движению тележки, его подвешивают с помощью универсального штатива (рис. 1-3).

Генератор тормозит движение тележки, поэтому наклон рельсов необходимо увеличить. Надо заранее подобрать и наклон лотка для предварительного разгона тележки, чтобы при ее движении стрелка гальванометра не выходила за пределы шкалы.

На уроке сначала объясняют подготовленную установку, затем пускают тележку и следят за стрелкой гальванометра. Во вре-

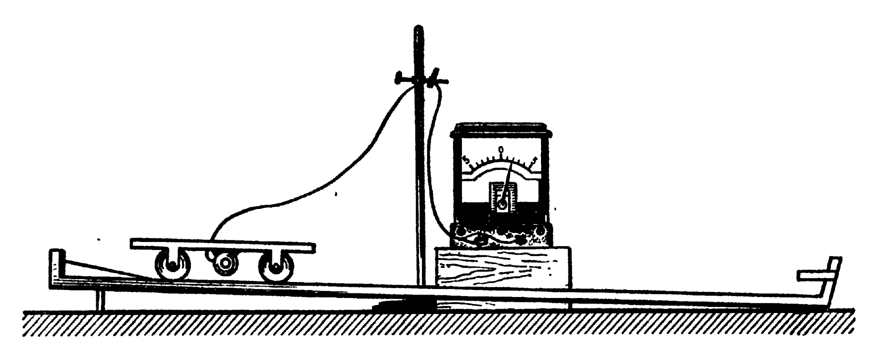


Рис. 1-3. Установка для измерения скорости спидометром

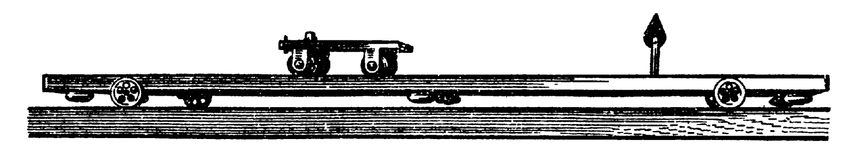


Рис. 1-4. Относительность движения и покоя.

мя разгона тележки стрелка плавно отклоняется и при равномерном движении тележки остается неподвижной.

Опыт повторяют 2—3 раза, после чего увеличивают угол наклона лотка для разгона тележки и наблюдают новые показания гальванометра. Из этих опытов делают заключение: если гальванометр проградуирован в единицах скорости, то он может служить измерителем скорости.

Если чувствительность гальванометра слишком велика и стрелка выходит за пределы шкалы, то его шунтируют реостатом, сопротивление которого подбирают путем предварительных испытаний.

ОПЫТ 3. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ПОКОЯ И ДВИЖЕНИЯ

Оборудование: 1) доска на четырех роликах, 2) тележка и указатель от прибора по кинематике и динамике, 3) модель подъемного крана, 4) кинофильм «Относительность движения»[1], 5) кинопроектор.

1. На доске, которая может легко передвигаться на роликах или катках вдоль демонстрационного стола, устанавливают тележку, которую в свою очередь можно передвигать вдоль доски (рис. 1-4). Опыты с этой установкой должны служить иллюстрацией к рассказу об относительности движения и покоя.

Передвигая тележку вдоль неподвижной доски, показывают, что движение тележки обнаруживается только благодаря изменению ее положения относительно окружающих предметов, в частности относительно доски. Однако и положение доски изменяется относительно тележки, — следовательно, можно считать, что и доска находится в движении относительно тележки.

Проведенный опыт показывает, что всякое движение относительно: тела двигаются относительно друг друга. Покой также относителен: доска неподвижна относительно стола, но движется относительно тележки.

Помещая указатель в качестве тела отсчета то на стол, то на доску, то на тележку, проводят следующие опыты: 1) передвигают тележку вдоль доски, которая неподвижна относительно стола, 2) придерживая тележку, передвигают под ней доску вдоль стола, 3) передвигают доску с неподвижно стоящей на ней тележкой,

---

[1] Относительность движения. 1 ч. Моск. киностудия научно-популярных фильмов, 1958. Продолжительность демонстрации — 10 мин.

4) двигая доску вдоль стола, передвигают вдоль доски и тележку в ту же сторону. При проведении каждого из этих опытов выявляют движение стола, доски и тележки относительно наблюдателя, находящегося то в одном, то в другом месте.

2. Для демонстрации двух перемещений, направленных под углом друг к другу, удобно воспользоваться моделью подъемного крана (рис. 1-5). На рисунке представлены наиболее существенные части крана: тележка, движущаяся горизонтально, и крюк, который перемещается по вертикали относительно тележки с помощью системы блоков. Каждое из этих двух движений осуществляется двумя электродвигателями постоянного тока, действующими от батареи КБС или другого подобного источника. Для управления краном служит специальный пульт. Рукоятку пульта, стоящую в нейтральном положении вертикально, можно отклонять в восьми направлениях, заставляя тем самым крюк с грузом двигаться вертикально, горизонтально или под углом к горизонту. При этом приводится в действие то один, то другой электродвигатель или оба одновременно.

Ролики и блоки крана снабжены метками, помогающими отличать вращающийся блок от неподвижного и замечать направление вращения.

В данном опыте заставляют тележку с грузом двигаться горизонтально и обращают внимание на то, что и груз, и тележка относительно друг друга находятся в покое и в то же время перемещаются относительно доски. Затем включают оба двигателя. При этом тележка двигается горизонтально, одновременно поднимая

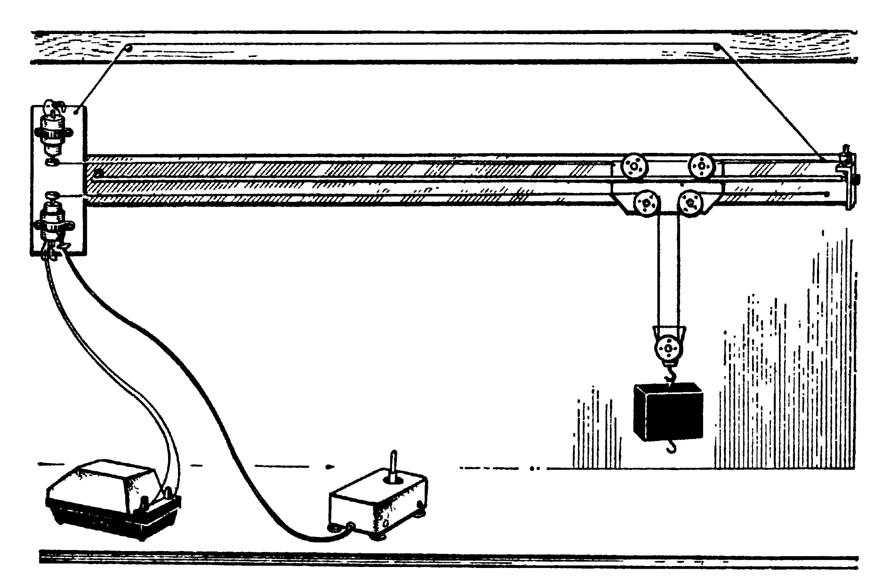


Рис. 1-5. Модель подъемного крана.

или опуская груз. Наблюдая действие крана, учащиеся определяют движение груза относительно тележки, груза относительно доски, тележки относительно доски и относительно груза.

В заключение демонстрируют кинофильм «Относительность движения». В этом фильме на ряде эпизодов показано, что любой из двух взаимно перемещающихся предметов может быть принят за неподвижный. Девушка на велосипеде, энергично вращающая педали, оказывается неподвижной относительно помещения, когда в кадре появляется нижняя часть колес и движущаяся лента трека, на котором установлен велосипед. В окно вагона видны медленно движущиеся вагоны соседнего поезда, и вопрос о том, какой поезд отходит от станции, решается только, когда за окном исчезает последний вагон и начинают мелькать станционные здания, столбы и деревья. Наблюдая на экране изображение земного шара, вращающегося вокруг своей оси, и движение Земли вокруг Солнца, зритель приходит к заключению, что абсолютного покоя в мире нет. Покой относителен, он является частным случаем движения.

Для формирования понятия о теле отсчета в фильме показано относительное движение плывущей по реке баржи с мальчиком и девочки, стоящей на берегу. В другом эпизоде показаны движущаяся лестница эскалатора метро и работница, протирающая панель эскалатора. Чтобы оставаться у неподвижной панели, ей приходится переступать по ступеням движущейся лестницы. Два типа строгального станка, показанные на экране, отличаются тем, что у одного станка неподвижна обрабатываемая деталь, а движется резец, у другого — резец неподвижен, но движется деталь. Для обработки детали это так же безразлично, как безразлично, летит ли модель самолета в воздухе или неподвижная модель обдувается потоком воздуха в аэродинамической трубе. Этими двумя эпизодами заканчивается фильм.

ОПЫТ 4. СЛОЖЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Оборудование: 1) доска на четырех роликах, 2) тележка и указатели из набора по кинематике и динамике — 3 шт., 3) штатив универсальный, 4) грузик на нити, 5) диск для опытов по вращательному движению.

1. На доске, расположенной вдоль демонстрационного стола, устанавливают тележку. На столе, доске и тележке расставляют указатели так, чтобы они оказались друг против друга (рис. 1-6, *а*). Передвинув одновременно доску по столу и тележку по доске в одну сторону, показывают, пользуясь указателями, перемещение тележки относительно доски и доски относительно стола (рис. 1-6, *б*). Перемещение тележки относительно стола равно по величине расстоянию между указателями, стоящими на столе и на тележке.

Для демонстрации сложения перемещений, направленных в противоположные стороны, пользуются той же установкой, но доску и тележку двигают в противоположные стороны с различной скоростью. Затем измеряют перемещения тележки относитель-

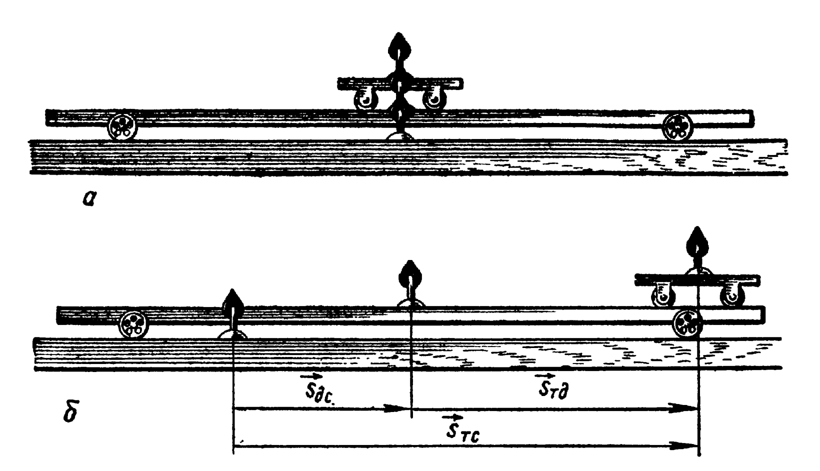


Рис. 1-6. Сложение перемещений, направленных в одну сторону.

но доски и доски относительно стола (рис. 1-7). Показывают, что перемещение тележки относительно стола направлено в сторону большего перемещения и равно разности численных значений перемещений составляющих движений.

2. Установка для демонстрации двух перемещений, направленных под углом, изображена на рисунке 1-8.

Сначала показывают движение штатива с грузом параллельно плоскости стола ($\vec{s}_{шс}$). Для этого зацепляют нить за крючок у основания штатива и двигают штатив с грузом влево вдоль стола. Затем возвращают штатив в исходное положение и, подтягивая нить, показывают движение груза относительно штатива ($\vec{s}_{гш}$).

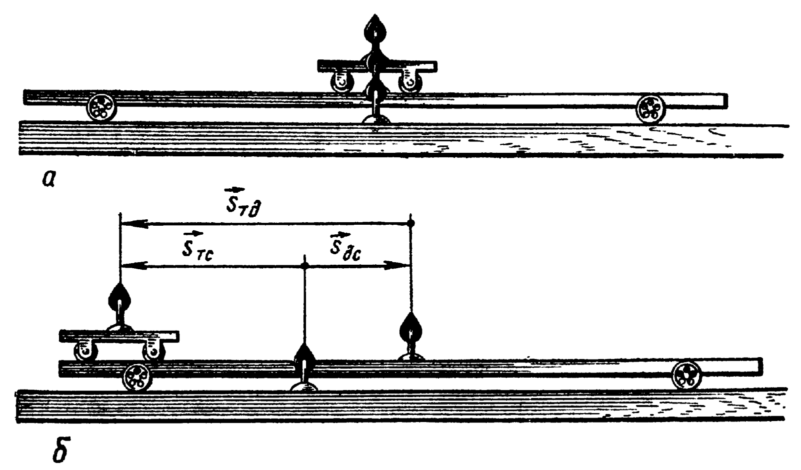


Рис. 1-7. Сложение перемещений, направленных в противоположные стороны.

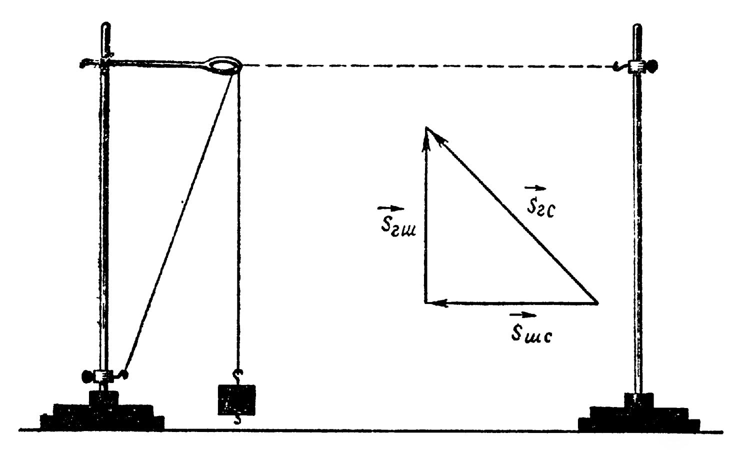


Рис. 1-8. Сложение перемещений, направленных под углом друг к другу.

Для демонстрации суммарного перемещения нить зацепляют за крючок второго штатива и снова двигают штатив с грузом влево вдоль стола. Перемещаясь вместе со штативом и одновременно поднимаясь вверх, груз совершает перемещение по наклонной прямой ($\vec{s}_{гс}$). После этого наблюдаемые перемещения изображают на доске в виде векторного треугольника.

3. Обращают внимание учащихся на то, что не только перемещение и скорость относительны. Относительна и траектория движения. Чтобы показать это, в руку берут ось диска, устанавливают его параллельно плоскости классной доски так, чтобы было удобно катить по лотку доски. Затем прижимают рукой к краю диска кусок мела и катят диск по лотку. При этом мел вычерчивает на доске циклоиду (рис. 1-9). Учащиеся убеждаются, что траектория движения мела относительно диска — окружность, а относительно доски — циклоида.

Второй вариант опыта: диск закрепляют в вертикальной плоскости на штативе. К оси диска приставляют рейку и, раскрутив диск, проводят по его поверхности вдоль рейки кусочком мела. На диске вычерчивается спираль (рис. 1-10). В этом опыте траектория движения мела относительно рейки — вертикальный отрезок прямой, а относительно диска — спираль.

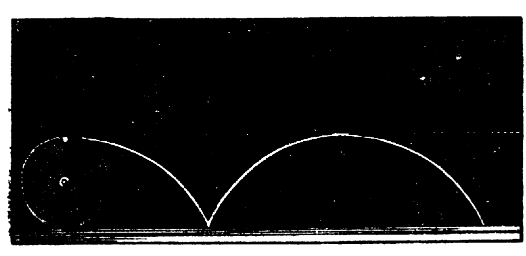
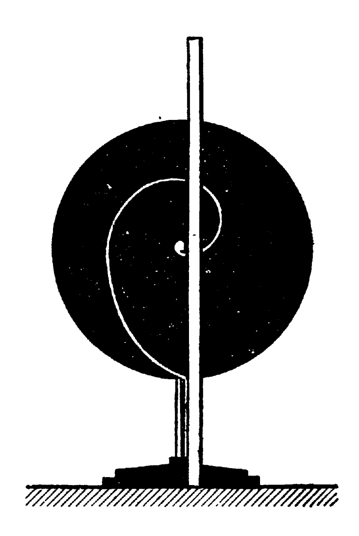


Рис. 1-9. Относительность траектории.

Рис. 1-10. Относительность траектории.



В дополнение к описанным опытам демонстрируют кинофрагмент «Сложение перемещений»[1]. Фрагмент рассказывает о сложении перемещений, направленных под углом друг к другу. Катер должен перевезти пассажиров на другой берег с пристани, расположенной ниже по течению реки. Показано движение катера в подвижной системе отсчета «Плот» и движение катера в неподвижной системе отсчета «Земля».

§ 2. ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

ОПЫТ 5. ЗАПИСЬ РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ И ВВЕДЕНИЕ ПОНЯТИЯ МГНОВЕННОЙ СКОРОСТИ

Оборудование: прибор по кинематике и динамике с капельным записывающим устройством.

Для определения мгновенной скорости в различные моменты времени следует воспользоваться записью равноускоренного движения, выполненного тем или иным способом, например с помощью капельницы.

Установка для проведения этого опыта отличается от установки, описанной в опыте 1, только значительно бо́льшим углом наклона рельсового пути. Этот наклон надо подобрать так, чтобы тележка с капельницей, прижатая к резиновым упорам у левого конца рельсового пути, при отпускании начинала двигаться равноускоренно и весь путь проходила, например, за 5 с.

Капельницу ставят на тележку, например над задней осью, и делают на полосе бумаги карандашом начальную метку. Затем на отмеченное место ставят стакан и у капельницы открывают кран, добиваясь падения капель с промежутками времени приблизительно в 1 с. Сдвинув стакан немного влево, чтобы капли падали в стакан у самого края, слегка прижимают тележку к резиновому упору и отпускают ее в момент падения капли (резиновый упор силой упругости производит короткий начальный толчок, преодолевающий трение покоя тележки).

[1] Сложение перемещений. Свердловская киностудия, 1970. Продолжительность демонстрации — 5 мин.

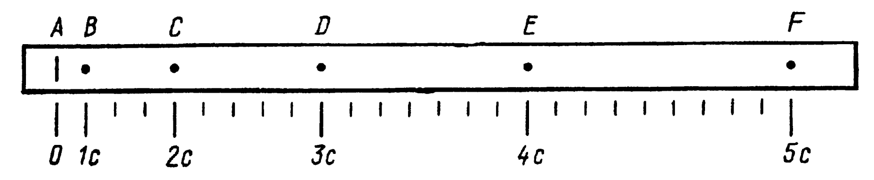


Рис. 1-11. Образец записи равноускоренного движения.

На рисунке 1-11 показан примерный образец получаемой записи. Ленту с записью прикрепляют к верхнему краю классной доски, а на доске под следами капель подписывают числа, соответствующие моментам времени падения капель. Затем делят (на глаз) промежутки между каплями на отрезки, приблизительно равные первому промежутку, и обращают внимание учащихся, что перемещения, полученные за равные промежутки времени, пропорциональны ряду нечетных чисел 1, 3, 5, 7, 9. Длину одного отрезка в дальнейшем можно будет принять за единицу.

Сделанная запись позволяет определить мгновенную скорость тележки в любой из отмеченных точек. Например, скорость в точке *C*. Для этого определяют сначала среднюю скорость на участках *CF*, *CE*, *CD*, постепенно приближая конец участка к точке *C*.

$$v_{CF} = \frac{21}{3} = 7\left(\frac{\text{ед}}{\text{с}}\right); \quad v_{CE} = \frac{12}{2} = 6\left(\frac{\text{ед}}{\text{с}}\right); \quad v_{CD} = \frac{5}{1} = 5\left(\frac{\text{ед}}{\text{с}}\right).$$

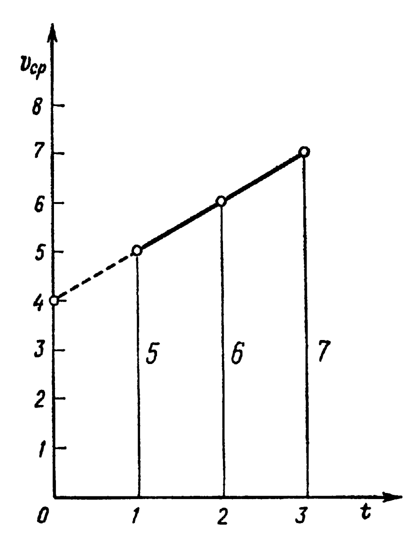


Рис. 1-12. График зависимости средней скорости равноускоренного движения от величины промежутка времени.

График зависимости средней скорости от величины промежутка времени, построенный по полученным данным, изображен на рисунке 1-12. График показывает, что средняя скорость пропорциональна взятому промежутку времени. Продолжая график до пересечения его с осью ординат, находят мгновенную скорость в точке *C* как предел, к которому стремится средняя скорость на участке *CD* (рис. 1-11) при приближении конца участка к точке *C*:

$$v_C = 4\left(\frac{\text{ед}}{\text{с}}\right).$$

Подобным же способом можно было найти мгновенную скорость в других точках, однако лучше для этого воспользоваться извест-

ной учащимся формулой:

$$v_{ср} = \frac{v_t + v_0}{2}.$$

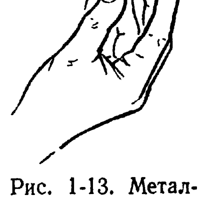


Рис. 1-13. Металлический и бумажный диски перед пуском.

Например:

$$v_{CD} = \frac{v_D + v_C}{2}; \quad v_D = 2v_{CD} - v_C; \quad v_D = 2 \cdot 5 - 4 = 6\left(\frac{ед}{с}\right).$$

Таким способом можно найти $v_A = 0$; $v_B = 2\left(\frac{ед}{с}\right)$;

$$v_C = 4\left(\frac{ед}{с}\right); \quad v_D = 6\left(\frac{ед}{с}\right); \quad v_E = 8\left(\frac{ед}{с}\right); \quad v_F = 10\left(\frac{ед}{с}\right).$$

Далее завершают обработку записи определением ускорения движения тележки. В приведенном примере

$$a = \frac{v_D - v_C}{t} = \frac{6-4}{1} = 2\left(\frac{ед}{с^2}\right), \text{ или } \frac{DE - CD}{t^2} = \frac{7-5}{1} = 2\left(\frac{ед}{с^2}\right).$$

ОПЫТ 6. ПАДЕНИЕ ТЕЛ В ВОЗДУХЕ И РАЗРЕЖЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Оборудование: 1) кружки металлический и бумажный, 2) два шарика одинакового размера, но разной массы, 3) трубка Ньютона, 4) вакуум-насос, 5) вакуумметр.

1. Берут в одну руку металлический кружок, а в другую — бумажный и одновременно их отпускают. После того как металлический кружок коснется стола, бумажный еще продолжает падать и достигает стола с большим опозданием.

Затем кладут на руку горизонтально металлический кружок и накладывают на него бумажный (рис. 1-13). Отпускают кружки; они, сохраняя горизонтальное положение, падают на стол вместе. Этот опыт показывает, что причиной неодновременности падения тел является сопротивление воздуха. Достаточно его устранить, и легкий бумажный кружок падает так же, как и металлический, для которого сопротивление воздуха мало по сравнению с силой тяжести.

Металлический кружок (диаметр 6—10 см) для этого опыта можно вырезать из любого металла. Диаметр бумажного кружка на 1—2 мм меньше.

2. У трубки Ньютона открывают кран и, держа ее в вертикальном положении краном кверху, обращают внимание учащихся на птичье перышко, пробку и кусочек свинца, лежащие на дне прибора.

При быстром перевертывании трубки краном вниз (это надо

сделать 2—3 раза) слышен удар свинцового грузика, затем видно, как падает пробка и медленно опускается перышко.

Далее соединяют толстостенным резиновым шлангом вакуум-насос с вакуумметром, а вакуумметр — с трубкой Ньютона и откачивают воздух. Когда стрелка вакуумметра не будет больше перемещаться, кран трубки Ньютона закрывают.

Сняв резиновый шланг, снова перевертывают трубку 2—3 раза. Учащиеся слышат стук кусочка свинца и наблюдают одновременное с ним падение перышка и пробки. Чтобы лучше были видны тела, заключенные в трубке, надо проводить опыт по возможности поближе к учащимся и на темном фоне.

3. Два шарика одинакового размера, но разной массы берут в одну руку и одновременно отпускают. Шарики падают и удары их о пол слышны одновременно. Аналогичный опыт проводил Галилей, бросая шары с наклонной башни. Опыт этот показывает, что если сопротивление воздуха невелико по сравнению с силой тяжести, то все тела, независимо от их массы, падают с одним и тем же ускорением.

ОПЫТ 7. ПАДЕНИЕ КАПЕЛЬ, НАБЛЮДАЕМОЕ ПРИ СТРОБОСКОПИЧЕСКОМ ОСВЕЩЕНИИ

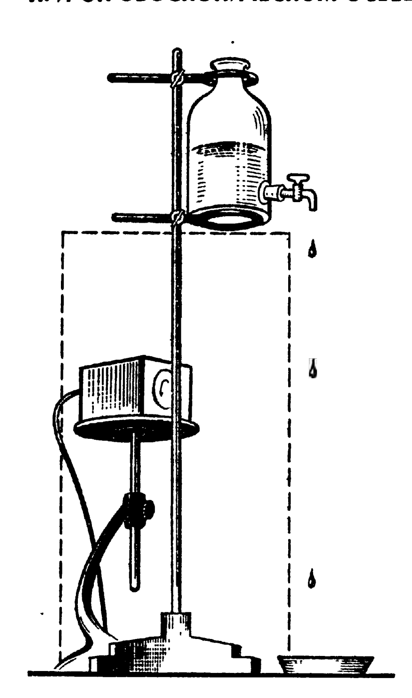


Рис. 1-14. Установка для наблюдения падения капель при стробоскопическом освещении.

Оборудование: 1) стробоскоп электронный, 2) склянка с тубусом внизу, 3) кран с наконечником, 4) кристаллизатор, 5) штатив универсальный, 6) подъемный столик.

Установка для проведения опыта изображена на рисунке 1-14 так, как она видна учащимся, сидящим в среднем ряду[1]. На штативе (как можно выше) закрепляют склянку с водой, имеющую внизу тубус и кран. Диаметр отверстия у крана не должен быть больше 1—2 мм; в противном случае к крану надо присоединять наконечник от глазной пипетки. Расстояние от наконечника до стоящего под ним кристаллизатора — около 50 см.

Для освещения капель устанавливают на подъемном столике сзади и несколько сбоку электрон-

[1] Наблюдение затруднено учащимся, сидящим в задних рядах, поэтому их следует пригласить подойти ближе к столу.

ный стробоскоп, настроенный на частоту около 10 вспышек в секунду. При такой частоте установка дает наилучший эффект, так как позволяет наблюдать только три капли, кажущиеся неподвижно висящими в воздухе. Расстояния между каплями (начиная от крана) приблизительно 5, 15, 25 см.

Чтобы свет стробоскопа не мешал наблюдению, к штативу прислоняют прямоугольный кусок картона на расстоянии 3—4 см от падающих капель, как показано на рисунке пунктиром.

Установив указанную выше частоту вспышек, приоткрывают кран, добиваясь кажущейся неподвижности капель, а еще лучше медленного движения их вверх или вниз. Когда капли медленно движутся вверх, наступает момент, когда верхняя капля как бы достигает крана. В этот момент особенно ясно видно, что расстояния между каплями пропорциональны числам 1, 3, 5.

Перед опытом кран должен быть смазан и иметь совершенно свободный ход, иначе получить ожидаемый эффект трудно. Регулировать кажущееся движение капель можно и изменением частоты вспышек стробоскопа. Однако при этом будет меняться не только направление движения капель, но и расстояние между каплями.

ОПЫТ 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ ПРИ СВОБОДНОМ ПАДЕНИИ

Оборудование: 1) секундомер электромеханический или электронный, 2) приставки-панели к секундомеру, 3) шарик стальной, 4) источник постоянного тока на 3,5—4 В, 5) провода соединительные, 6) штатив универсальный.

Ускорение свободного падения тела определяют путем измерения времени падения стального шарика с заданной высоты с последующим вычислением ускорения по формуле

$$h = \frac{gt^2}{2}; \quad g = \frac{2h}{t^2}.$$

В опыте можно воспользоваться секундомером электромеханическим или электронным и специальными приставками-панелями, предназначенными для пуска и остановки шарика с одновременным пуском и остановкой секундомера[1]. Из трех приставок, входящих в комплект, в данном опыте нужны две: панель с электромагнитом и панель «НЗ» — с нормально замкнутыми контактами (рис. 1-15).

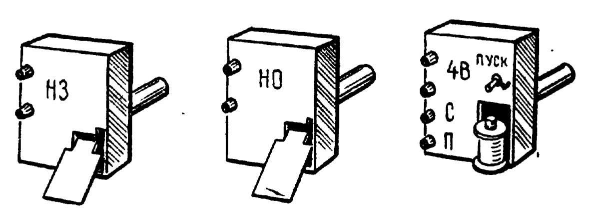


Рис. 1-15. Комплект приставок-панелей.

[1] См.: Учебное оборудование по физике в средней школе. Под ред. А. А. Покровского. М., 1973, с. 76—83.

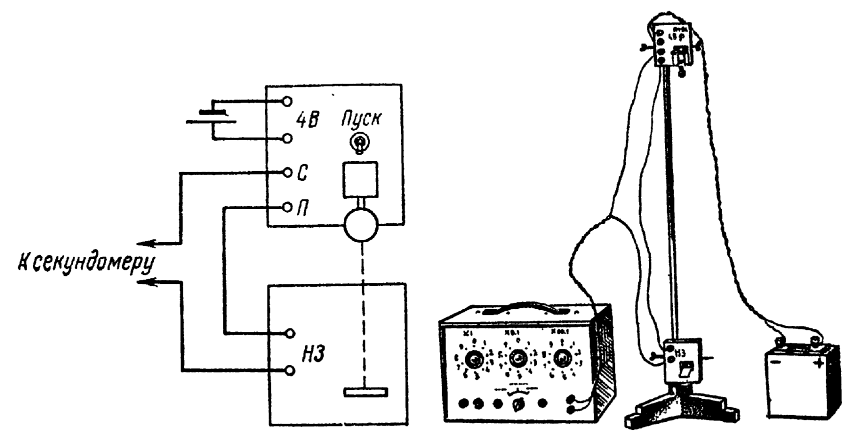


Рис. 1-16. Схема соединений панелей.

Рис. 1-17. Установка для измерения времени падения шарика.

Для сборки установки применяют универсальный штатив, на стержне которого вверху закрепляют панель с электромагнитом, а у основания — панель «НЗ» (рис. 1-16). Обе панели соединяют между собой и присоединяют к пусковым зажимам электромеханического секундомера или к зажимам «вход» электронного (рис. 1-17). К зажимам «4В» панели с электромагнитом присоединяют любой источник постоянного тока на 3,5—4 В и проверяют действие тумблера с обозначением «пуск» по притяжению электромагнитом шарика, после чего этим тумблером выключают ток в электромагните и опускают площадку панели «НЗ».

При применении электронного секундомера включают вилку шнура секундомера в сеть, ставят тумблер выключателя в положение «вкл.» и обращают внимание на сигнальную лампочку — она должна загореться. Через некоторое время переводят ручку переключателя в положение «секунды» и нажимают кнопку «сброс», после чего во всех декатронах возникает разряд у цифры 0.

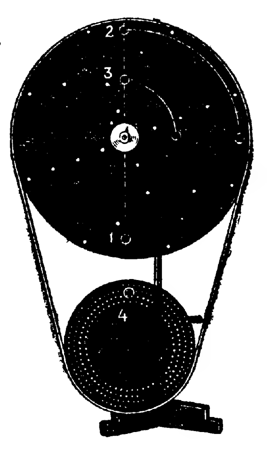
Далее включают электромагнит и приставляют к его сердечнику стальной шарик[1]. Поднимают площадку нижней панели. При этом контакты верхней панели оказываются разомкнутыми, а нижней — замкнутыми.

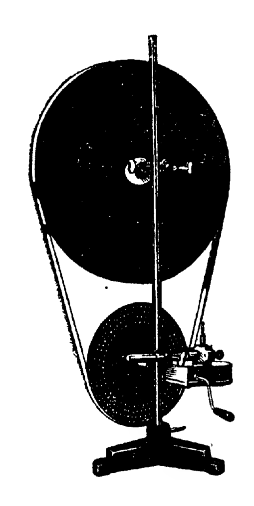
При повороте ручки тумблера «пуск» шарик начинает падать. В тот же момент контакты верхней панели замыкаются и приводят в действие секундомер. При ударе шарика о площадку нижней панели ее контакты размыкаются и счет времени прекращается.

Сняв показание секундомера и измерив с помощью демонстрационного метра высоту падения шарика, вычисляют ускорение свободного падения по указанной выше формуле.

[1] Если шарик притягивается к сердечнику электромагнита излишне сильно, полезно между шариком и сердечником проложить листок бумаги.

Рис. 1-18. Установка для выяснения понятий о линейной и угловой скоростях.





Измерение времени падения с данной высоты желательно повторить несколько раз и по среднему его значению вычислить ускорение. Полезно также повторить опыт, изменив высоту падения шарика.

§ 3. КРИВОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

ОПЫТ 9. ЛИНЕЙНАЯ И УГЛОВАЯ СКОРОСТИ ПРИ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ ТЕЛА ПО ОКРУЖНОСТИ

Оборудование: 1) вращающийся диск, 2) сирена дисковая, 3) машина центробежная с червячной передачей, 4) штатив универсальный, 5) тесьма 1,5 м, 6) точило ручное, 7) напильник.

Для выяснения понятий о линейной и угловой скорости собирают модель ременной передачи, изображенной на рисунке 1-18. Роль шкивов выполняют вращающийся диск и дисковая сирена[1]. Их диаметры относятся приблизительно, как 1 : 2. Диски охватываются матерчатой тесьмой шириной около 2 см и устанавливаются строго в одной плоскости. Только в таком случае получится надежная ременная передача и тесьма во время опыта не будет сползать. Для удобства вращения диска с небольшой скоростью рукоятку центробежной машины ввинчивают в торец шпинделя, вывинтив из него крючок. Приступая к объяснениям, показывают, что точки, одинаково удаленные от оси вращения, имеют одинаковые линейные и угловые скорости. Для этого на верхнем диске наносят мелом точки *1* и *2* и поворачивают его на полный оборот. Обе точки проходят за одно и то же время одинаковые пути и проведенные через них радиусы поворачиваются на одинаковые углы.

---

[1] Вместо тесьмы можно взять изношенную измерительную ленту из набора для фронтальных лабораторных работ.

Затем оставляют на диске точку *2* и наносят точку *3*. Повертывая диск, показывают, что радиусы, проведенные через эти точки, поворачиваются на один и тот же угол, но путь, пройденный точкой *2*, вдвое больше пути, пройденного точкой *3*. Следовательно, эти точки имеют одинаковые угловые, но разные линейные скорости.

Поворачивают верхний диск так, чтобы точка *1* расположилась внизу, и против нее на нижнем диске наносят точку *4*. Поворачивают нижний диск на целый оборот и обращают внимание учащихся, что верхний диск при этом повернулся менее чем на $^1/_2$ оборота, хотя пути, пройденные обеими точками, одинаковы. Отсюда следует, что линейные скорости точек *1* и *4*, а также скорость ремня равны между собой. Угловые же скорости этих точек различны.

Чтобы показать, как направлена линейная скорость при вращательном движении, приводят в быстрое движение наждачный круг ручного точила и прижимают к нему какой-либо стержень из закаленной стали, например напильник (рис. 1-19). Тонкий пучок искр, вырывающийся из-под стержня, направлен по касательной к окружности. Направление движения раскаленных частиц стали и есть направление их мгновенной скорости.

ОПЫТ 10. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

Оборудование: 1) электродвигатель универсальный, 2) диск стробоскопический, 3) лампа люминесцентная, 4) реостат на 400—600 Ом, 5) тахометр демонстрационный, 6) штатив универсальный, 7) ящик-подставка.

До изучения законов динамики целесообразно ознакомить учащихся только с такими способами измерения угловой скорости, которые не основаны на этих законах. Один из таких способов — стробоскопический, другой — электромагнитный.

Для демонстрации первого способа на вал универсального электродвигателя насаживают картонный диск диаметром около 18 см, вычерченный черной тушью, как показано на рисунке 1-20. Диск ярко освещают люминесцентной лампой и включают электродвигатель. Уменьшая сопротивление реостата, постепенно увеличивают число оборотов вала, пока наружное кольцо диска не станет

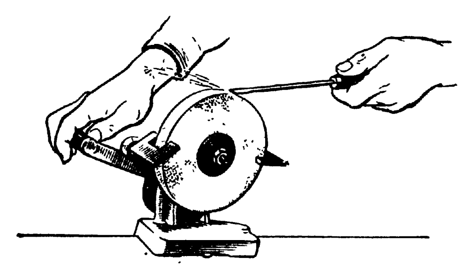


Рис. 1-19. Направление движения искр от точильного камня.

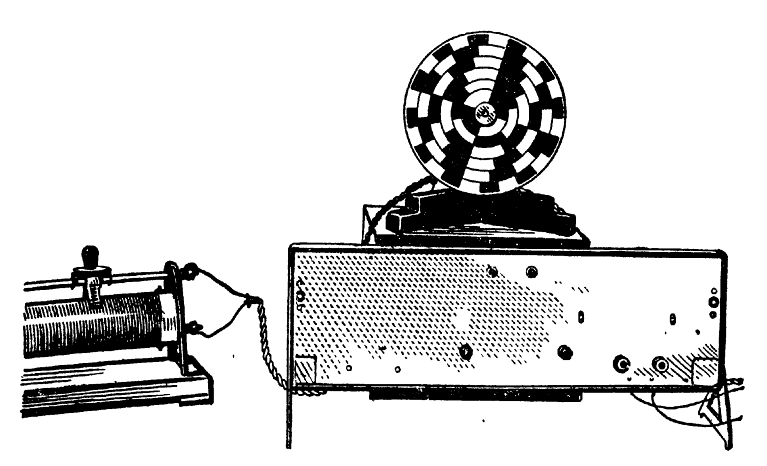


Рис. 1-20. Установка для демонстрации стробоскопического метода определения угловой скорости.

казаться неподвижным. Причина кажущейся неподвижности заключается в следующем. На кольце размещено 12 черных и столько же белых секций. Частота переменного тока осветительной сети 50 Гц, а лампа дает две вспышки за период, т. е. 100 вспышек в секунду. Очевидно, что если за время в 0,01 с между двумя вспышками на место белой секции будет попадать ближайшая такая же секция, то наблюдателю кольцо будет казаться неподвижным. В таком случае кольцо делает полный оборот за 0,01 с · 12=0,12 с, а его угловая скорость равна $\frac{100 \cdot 60}{12} = 500$ об/мин. При дальнейшем увеличении скорости поочередно кажутся остановившимися все последующие кольца.

Установка для проведения описанного опыта изображена на рисунке 1-20. Подставку под электродвигатель подбирают такой высоты, чтобы диск был виден учащимся и ярко освещался люминесцентной лампой. Помещение класса лучше затемнить.

При демонстрации второго способа применяют демонстрационный тахометр, изображенный на рисунке 1-21. Он изготовлен на основе тахометра ТМ1-1П, проградуирован в обо-

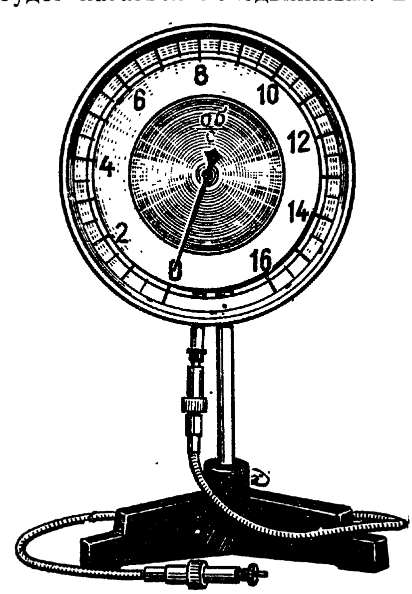


Рис. 1-21. Демонстрационный тахометр.

ротах в секунду и имеет шкалу увеличенного диаметра. Механизм тахометра закрыт. В VIII классе преждевременно знакомить учащихся с принципом действия электромагнитного тахометра. Это будет сделано в IX классе при изучении электродинамики. В данном опыте целесообразно ограничиться демонстрацией действия тахометра и сравнением его показаний с показаниями описанного выше стробоскопического тахометра. (Следует иметь в виду, что в ряде последующих опытов этот тахометр уже не будет объектом демонстрации, а будет применяться по своему назначению.)

Для сравнения показаний двух приборов винт для крепления стробоскопического диска отвинчивают и на его место ввертывают наконечник троса тахометра. Вся установка приводится в действие, как это было описано выше. По мере увеличения угловой скорости ротора электродвигателя и стробоскопического диска стрелка тахометра увеличивает показания, и, когда наблюдается кажущаяся остановка или медленное перемещение наружного кольца диска, соответствующего 500 об/мин, показание будет около 8,5 об/с. Далее сравнивают показания тахометров при 750 и 1000 об/мин. Опыт показывает, что показания приборов в пределах допустимых погрешностей совпадают.

§ 4. ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ НЬЮТОНА

ОПЫТ 11. ЯВЛЕНИЕ ИНЕРЦИИ

Оборудование: 1) тележка, 2) брусок деревянный, 3) небольшой мешок с песком, 4) кинофильм «Законы Ньютона» (ч. 1),[1] 5) кинопроектор.

Известно множество различных опытов для демонстрации инерции, описанных в учебниках и в обширной методической литературе. Проявление инерции в жизненной практике учащихся настолько часто, что одних только примеров, известных учащимся, было бы достаточно для введения необходимых понятий и усвоения первого закона динамики. Тем не менее после опыта с шариком, описанного в учебнике «Физика-8», полезно предложить учащимся для самостоятельного рассмотрения два характерных случая проявления инерции.

Для проведения такого опыта можно воспользоваться тележкой от прибора по кинематике и динамике с вертикально расположенным на ней деревянным бруском (рис. 1-22). Резким толчком тележку приводят в движение, при этом брусок опрокидывается. Вернув тележку в исходное положение, вновь устанавливают на ней брусок и плавно разгоняют вдоль стола. Натолкнувшись на препятствие, тележка останавливается, а стоящий на ней брусок падает вперед.

---

[1] Законы Ньютона. 3 ч. Ленинградская студия научно-популярных фильмов, 1971. Продолжительность демонстрации — 30 мин.

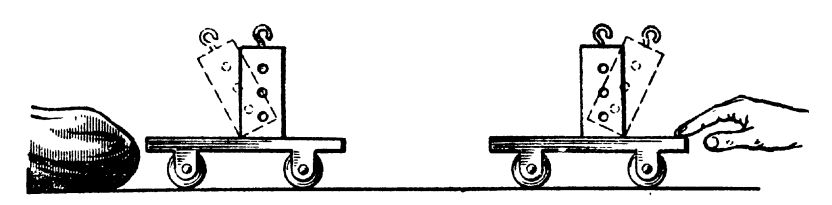


Рис. 1-22. Демонстрация инерции.

Беседу, развернутую на основе приведенных опытов, завершают демонстрацией первого фрагмента кинофильма «Законы Ньютона».

Фильм начинается с небольшого вступления, в котором раскрывается значение выбора системы отсчета для определения положения тела в пространстве. Показано, как определять положение тела относительно подвижной и неподвижной систем отсчета. Затем показан шарик, подвешенный на нити к штативу. Притяжение Земли скомпенсировано натяжением шнура. Приводятся и другие примеры компенсации действия притяжения Земли: груз на кране, корабль на стапелях, шайба на льду. С помощью стробоскопического метода показано изменение скорости тела в аттракционе «Американские горы», где действие силы притяжения Земли не скомпенсировано. Затем идут кадры, показывающие движение шарика по наклонному и горизонтальному желобам. Приведены различные примеры движения тела по инерции: автомобиля, трактора, искусственного спутника Земли и др. В конце фрагмента рассказывается об инерциальных и неинерциальных системах отсчета.

ОПЫТ 12. ИНЕРТНОСТЬ ТЕЛА

Оборудование: 1) гиря массой 2 кг, 2) штатив универсальный, 3) нить длиной 1 м, 4) прочный шнурок.

Перед опытом заготавливают несколько одинаковых отрезков суровой нити с завязанными на концах петлями. На стойке, собранной из деталей универсального штатива, подвешивают груз 2 кг с помощью одного из заготовленных отрезков (рис. 1-23). Второй такой же отрезок привязывают к нижней петле груза.

Чтобы груз при обрывании нити не падал, его подвязывают к перекладине стойки свободно свисающим прочным шнурком.

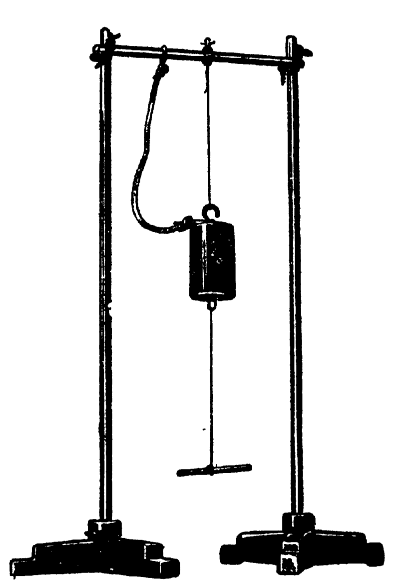


Рис. 1-23. Установка для демонстрации инертности тела.

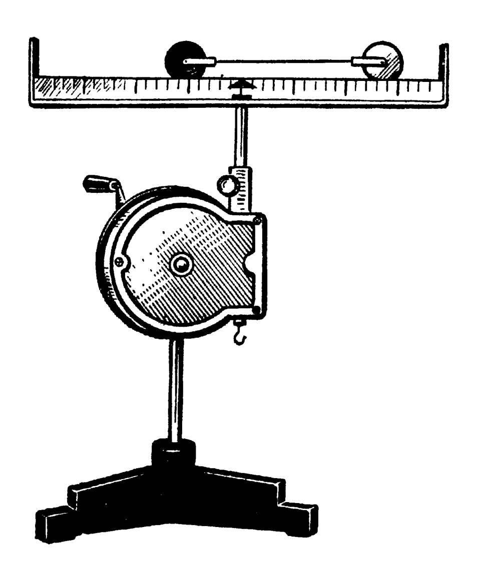


Рис. 1-24. Сравнение масс двух тел по их взаимодействию.

Взявшись за рукоятку, вставленную в петлю нижней нити, приподнимают руку и резко дергают рукоятку вниз. При этом обрывается нижняя нить, а груз остается висящим на верхней нити.

При движении руки сила натяжения нижней нити достигает предельного значения за такое короткое время, в течение которого массивная гиря не может заметно опуститься и передать усилие верхней нити так, чтобы она порвалась.

После этого заменяют порванную нить новой и медленно натягивают ее, постепенно увеличивая усилие. Теперь обрывается верхняя нить и груз повисает на предохранительном шнурке. В этом случае сила натяжения верхней нити раньше достигает предельного значения, так как она в любой момент равна весу гири плюс сила натяжения нижней нити.

ОПЫТ 13. СРАВНЕНИЕ МАСС ДВУХ ТЕЛ ПО ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ

Оборудование: 1) прибор «Тела неравной массы», 2) центробежная машина.

Для введения понятия массы может служить прибор, представляющий собой лоток, устанавливаемый горизонтально в шпинделе центробежной машины, с двумя сплошными цилиндрами одинаковых размеров, изготовленными из стали и алюминия и связанными шнурком (рис. 1-24).

Цилиндры устанавливают по обе стороны от оси вращения сначала на равных расстояниях. Показывают, что даже при очень медленном вращении цилиндры не остаются на месте, а сдвигаются на край лотка в сторону стального цилиндра.

После этого цилиндры располагают на лотке так, чтобы они, описывая окружности разных радиусов, удерживали друг друга и оставались на своих местах. Такое положение цилиндров заранее находят опытным путем.

Измерив радиусы вращения, показывают, что для алюминиевого цилиндра радиус вращения в три раза больше, чем для стального. Этот результат служит основанием для введения понятия

массы и позволяет сделать вывод о том, что отношение абсолютных значений ускорений двух взаимодействующих тел равно обратному отношению их масс.

ОПЫТ 14. ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Оборудование: 1) прибор «Тела неравной массы», 2) динамометр цилиндрический, 3) тахометр демонстрационный, 4) центробежная машина, 5) штатив демонстрационный.

В учебнике «Физика-8» второй закон Ньютона выводится из опыта, показывающего, что при действии на тела различной массы одной и той же силы произведение массы тела на его ускорение для всех тел одно и то же. Демонстрация опыта сводится к измерению центростремительного ускорения, сообщаемого одинаковой силой телам различной массы при их вращении на центробежной машине.

На рисунке 1-25 изображена установка для проведения этого опыта, собранная из прибора «Тела неравной массы», центробежной машины и тахометра. Прибор представляет собой горизонтальный

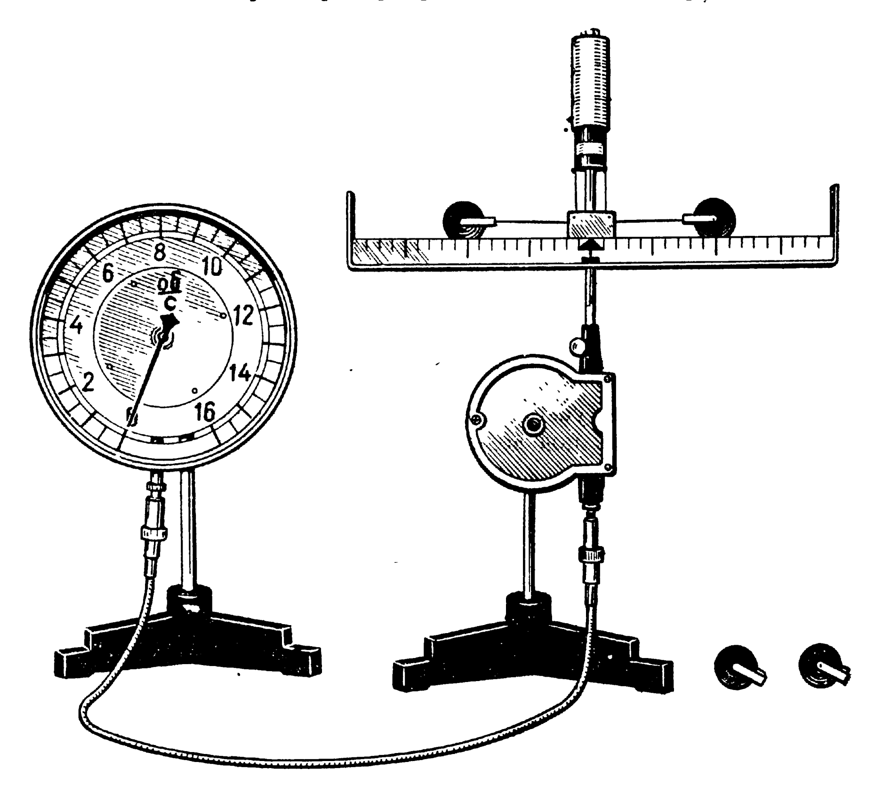


Рис. 1-25. Установка для демонстрации второго закона Ньютона.

лоток, на котором на равных расстояниях от оси находятся два одинаковых стальных или алюминиевых цилиндра. Цилиндры нитями соединяются с динамометром цилиндрической формы, который служит для измерения силы, удерживающей вращающиеся цилиндры на окружности. Угловую скорость прибора можно измерять в оборотах в секунду с помощью расположенного рядом демонстрационного тахометра. Показания динамометра так же, как и тахометра, снимают во время движения. Радиус вращения измеряется по горизонтальной линейке неподвижного прибора; для этого грузом оттягивают пружину динамометра до того показания, которое наблюдалось во время опыта.

Перед опытом на лоток ставят алюминиевые цилиндры и соединяют их с крючком динамометра. Затем вращают рукоятку машины, постепенно увеличивая угловую скорость. При этом показание динамометра увеличивается, и, когда оно достигнет какого-либо произвольно выбранного значения (например, 5-го деления), поддерживают некоторое время скорость постоянной и записывают на доске показания тахометра. Например, $n_а = 3{,}5$ об/с.

Заменив алюминиевые цилиндры стальными, повторяют опыт и находят, что при действии такой же силы угловая скорость вращения меньше: $n_с = 2$ об/с.

Далее приступают к обработке результатов.

Из опыта, проведенного при введении понятия массы, учащимся известно, что масса стального цилиндра втрое больше массы алюминиевого:

$$\frac{m_с}{m_а} = 3.$$

Известна также формула, связывающая центростремительное ускорение с угловой скоростью:

$$|\vec{a}| = \omega^2 r, \text{ или } |\vec{a}| = 4\pi^2 n^2 r.$$

Сравнивают далее ускорения, которые получили алюминиевые и стальные цилиндры под действием одной и той же силы:

$$\frac{|\vec{a}_а|}{|\vec{a}_с|} = \frac{4\pi^2 r \cdot 3{,}5^2}{4\pi^2 r \cdot 2^2} = 1{,}75^2 \approx 3.$$

Следовательно,

$$\frac{m_с}{m_а} = \frac{|\vec{a}_а|}{|\vec{a}_с|}, \text{ или } m_с |\vec{a}_с| = m_а |\vec{a}_а|.$$

Произведение массы тела на его ускорение выражает силу, действующую на тело:

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

ОПЫТ 15. СЛОЖЕНИЕ ДВУХ СИЛ, НАПРАВЛЕННЫХ ПОД УГЛОМ ДРУГ К ДРУГУ

Оборудование: набор по статике[1].

Сложение сил, направленных по одной прямой, и перенос точки приложения силы вдоль этой прямой знакомы учащимся из курса VI класса. Поэтому изучение правил сложения и разложения сил можно ограничить случаем, когда силы направлены под углом друг к другу.

Для проведения этого опыта на щите подвешивают пружину и оттягивают ее двумя динамометрами так, чтобы последние расположились под прямым углом и показывали 3 и 4 единицы. Отмечают мелом положение колечка пружины и проводят риски позади динамометров, чтобы отметить направление силы (рис. 1-26, *а*). Затем один динамометр убирают, а другим оттягивают пружину так, чтобы колечко вновь оказалось на оставленной ранее метке. Риской на щите отмечают новое положение динамометра и записывают его показание (рис. 1-26, *б*).

Убрав динамометр, проводят мелом из отмеченной точки прямые через три риски и на этих прямых в произвольном масштабе строят три вектора сил (рис. 1-26, *в*). Соединив концы векторов, показывают, что полученный четырехугольник — параллелограмм, а вектор равнодействующей — диагональ.

Вектор равнодействующей силы полезно начертить цветным мелом. Этим можно подчеркнуть, что равнодействующая не является

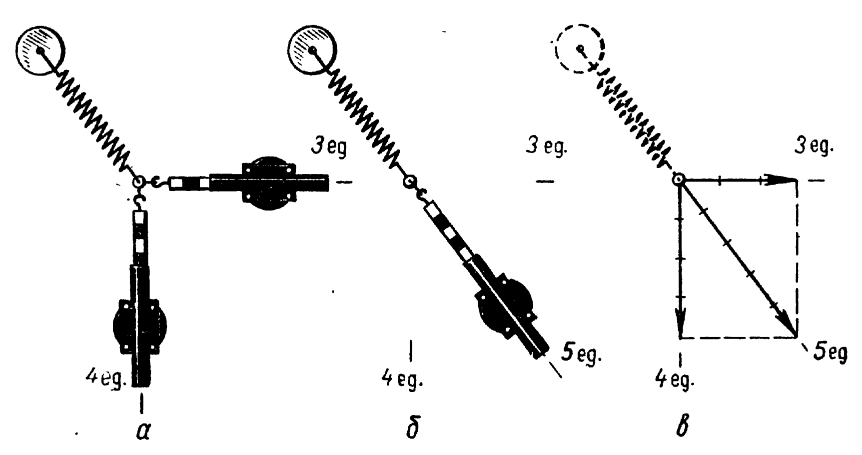


Рис. 1-26. Демонстрация правила параллелограмма сил.

[1] Набор по статике с магнитными держателями описан в кн.: Учебное оборудование по физике в средней школе. Под ред. А. А. Покровского. М., 1973, с. 96—98.

третьей силой, действующей одновременно с двумя первыми, а заменяет эти силы. Иногда, без применения цветного мела, векторы составляющих сил зачеркивают.

Правило сложения двух сил, направленных под углом друг к другу, выведено из описанного выше опыта, исходя из определения равнодействующей как силы, эквивалентной по своему действию двум данным силам. Мерой действия служила деформация пружины.

Проведенный опыт может служить достаточным основанием для введения понятия уравновешивающей силы. В описанном опыте сила натяжения пружины является уравновешивающей силой по отношению к двум составляющим или к их равнодействующей.

ОПЫТ 16. ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИЛЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛА МЕЖДУ СОСТАВЛЯЮЩИМИ

Оборудование: набор по статике.

Опытом, обобщающим частные случаи сложения сил, служит демонстрация зависимости величины равнодействующей силы от угла между составляющими.

Уже имея понятие об уравновешивающей силе, учащиеся по ее величине и направлению могут судить о равнодействующей. В данном опыте использован именно этот прием.

1. Установка для проведения опыта изображена на рисунке 1-27, на котором показаны четыре стадии проведения опыта:

а) Две силы 3 и 2 ед. действуют на узелок *А* и направлены в противоположные стороны, т. е. под углом 180° друг к другу. Они уравновешены силой натяжения пружины динамометра, который показывает 1 ед.

б) Передвигают держатели с блоками так, чтобы сила тяжести меньшего груза действовала на узелок *А* вертикально вниз, а динамометр сохранял бы горизонтальное положение (корректор динамометра должен быть установлен именно для такого положения). Это условие однозначно определит положение второго груза, при котором нити расположатся под некоторым тупым углом, а показания динамометра увеличатся.

в) Нить с подвешенным меньшим грузом, касающуюся блока справа, переводят на левую сторону блока и размещают держатели блоков, чтобы нити образовали острый угол, а динамометр попрежнему оставался в горизонтальном положении. В результате такого размещения показания динамометра вновь увеличиваются.

г) Передвигая блоки, уменьшают угол между нитями до нуля. При этом динамометр показывает 5 ед.

Опыт приводит к заключению, что при уменьшении угла между составляющими от 180 до 0° равнодействующая их увеличивается от разности составляющих (3 ед. — 2 ед. = 1 ед.) до их суммы (3 ед. + 2 ед. = 5 ед.).

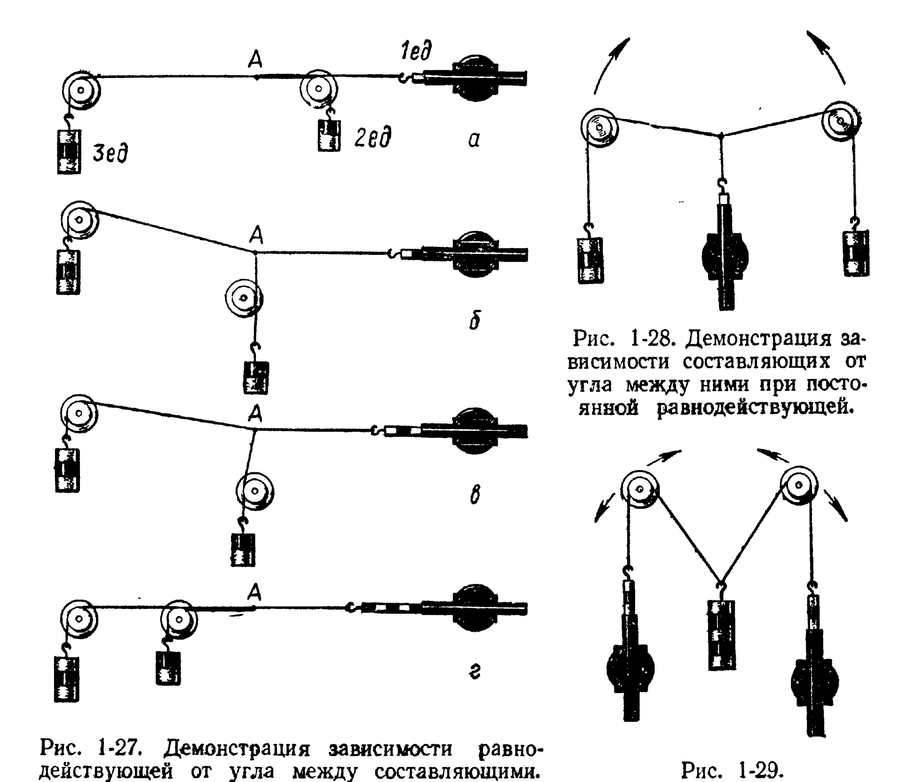


Рис. 1-28. Демонстрация зависимости составляющих от угла между ними при постоянной равнодействующей.

Рис. 1-27. Демонстрация зависимости равнодействующей от угла между составляющими.

Рис. 1-29.

2. Представляет некоторый интерес рассмотрение частного примера, когда величины составляющих сил равны между собой. Установка для такого опыта показана на рисунке 1-28.

Сохраняя вертикальное положение динамометра, передвигают держатели с блоками, уменьшая и увеличивая угол между нитями в пределах от 0 до 180°. При таком изменении угла между составляющими силами динамометр показывает изменение уравновешивающей, а следовательно, и равнодействующей силы от 6 ед. до 0.

3. В рассмотренном случае величины двух составляющих оставались постоянными, изменялся лишь угол между ними. От этого изменялась их равнодействующая. Большое практическое значение имеет другой случай, когда величина равнодействующей остается постоянной при изменении угла между составляющими. При этом изменяются величины составляющих. Это показывают на установке, которая отличается от предыдущей тем, что грузы и динамометр поменялись местами (рис. 1-29). Передвигая держатели с блоками на этой установке, можно показать, что при одной и той же равнодействующей значения составляющих неограниченно возрастают с приближением угла между ними к 180°. С подобным

явлением приходится встречаться при подвешивании какого-либо груза (фонарь, трамвайный провод и т. д.) к горизонтально натянутой проволоке.

ОПЫТ 17. ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Оборудование: 1) прибор по кинематике и динамике, 2) весы настольные ВНШО-2.

Для проведения этого опыта от прибора по кинематике и динамики берут рельсы и две тележки с воротом и грузами. Рельсы предварительно устанавливают по уровню.

На чашки весов ставят тележки и показывают, что их массы одинаковы (если массы различны, то более легкую тележку догружают гирями). Затем ставят тележки на рельсы и навивают нить на ворот. Свободный конец нити пропускают через ролик, установленный на площадке перед воротом и прикрепляют ко второй тележке (рис. 1-30). Разводят тележки к упорам; при этом нить сматывается с ворота, а грузы поднимаются вверх. Придерживая тележку с воротом одной рукой, отпускают вторую тележку. Последняя равноускоренно перемещается по направлению к первой тележке.

Опыт повторяют, но теперь придерживают вторую тележку, а отпускают тележку с воротом. На глаз видно, что она движется с тем же ускорением, с каким двигалась другая тележка в предыдущем опыте.

Снова разводят тележки к концам рельсов, но отпускают одновременно и демонстрируют их встречное движение. Обращают внимание учащихся на то, что тележки сталкиваются на середине пути. Это доказывает, что они действительно двигаются с одинаковыми ускорениями.

Проделанные опыты показывают, что, несмотря на установку «двигателя» на одной из тележек, обе тележки совершенно равноправны в своем взаимодействии: они действуют друг на друга с равными и противоположно направленными силами.

Полезно проделать еще один вариант опыта: воспользоваться небольшим мешком с песком и увеличить в два раза массу тележки,

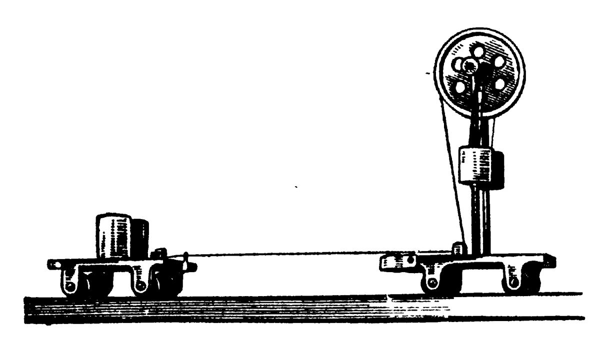


Рис. 1-30. Взаимодействие тележек.

свободной от ворота; тогда пущенные одновременно тележки, двигаясь навстречу друг другу под действием равных по модулю сил, встретятся в точке, которая разделит путь в отношении 1 : 2.

Беседу, развернутую на основе проведенных опытов, завершают демонстрацией третьего фрагмента кинофильма «Законы Ньютона»[1]. В этом фрагменте вначале идут кадры, показывающие взаимодействие двух тел и возникающие при этом ускорения: баба копра и свая, биллиардные шары. Из этих примеров делают вывод о силах взаимодействия и формируют третий закон. На следующих кадрах показано измерение динамометрами сил взаимодействия двух цилиндров. Вывод о том, что третий закон одинаково применим ко всем телам (жидким, твердым и газообразным), раскрывается на примерах движения тел в воде, воздухе и на земле. Подчеркивается, что при взаимодействии двух тел природа возникающих сил одинакова: на мяч и ракетку действуют силы упругости, на стекло и полировальный круг — сила трения и т. п. В конце фрагмента показано реактивное движение — его принцип и использование в авиации.

§ 5. СИЛЫ В ПРИРОДЕ

ОПЫТ 18. СИЛА УПРУГОСТИ. ЗАКОН ГУКА

Оборудование: 1) пара пружин с цилиндрическими держателями, 2) набор из шести грузов по 100 г, 3) линейка классная, 4) штатив универсальный.

Цель проведения опыта — показать зависимость силы упругости от удлинения пружины и ввести понятие жесткости. Для выполнения опыта пользуются комплектом из двух пружин различной жесткости с цилиндрическими держателями. Одну из них подвешивают без держателя на штативе за крючок, как показано на рисунке 1-31. Витки пружины обычно плотно прижаты друг к другу. Чтобы пружина действовала нормально, ее надо слегка растянуть. Для этого к ее нижнему крючку подвешивают самодельный плоский грузик с двумя крючками массой приблизительно 50 г. Край этого грузика будет служить

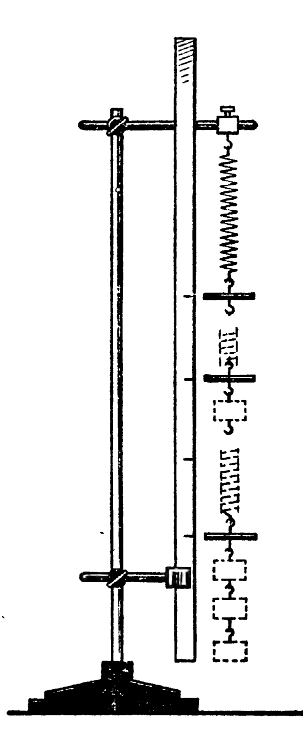


Рис. 1-31. Установка для демонстрации силы упругости и закона Гука.

[1] Законы Ньютона. 3 ч. Ленинградская студия научно-популярных фильмов, 1971. Продолжительность демонстрации — 30 мин.

указателем для отсчета удлинений. Против него на линейке, закрепленной в лапке штатива, наносят мелом начальный штрих.

Подвешивание первого груза вызывает заметную деформацию пружины и, когда сила упругости станет равной весу груза, против указателя мелом делают на линейке второй штрих.

Если опыт проводится с пружиной меньшей жесткости, то установка позволяет подвесить последовательно еще два груза.

Учащиеся видят, что расстояния между соседними штрихами одинаковы. Это показывает, что между силой упругости пружины и ее удлинением существует линейная зависимость (закон Гука), выражаемая формулой

$$F_{\text{упр}} = -kx.$$

Измерив расстояние между любой парой штрихов и разделив соответствующую силу упругости на это расстояние, находят числовое значение коэффициента пропорциональности, например:

$$k = \frac{3\text{Н}}{0{,}34\ \text{м}} \approx 9\ \text{Н/м}.$$

Указывают, что найденная величина характеризует упругие свойства данной пружины и называется коэффициентом жесткости.

Далее подобным же способом испытывают вторую более жесткую пружину и определяют ее коэффициент жесткости.

ОПЫТ 19. ТРЕНИЕ ПОКОЯ И СКОЛЬЖЕНИЯ

Оборудование: 1) динамометр с круглым циферблатом, 2) трибометр демонстрационный, 3) гиря массой 2 кг, 4) штатив универсальный, 5) метр демонстрационный, 6) шнурок.

1. Собирают установку, как показано на рисунке 1-32. Доску трибометра закрепляют справа в штативе с помощью имеющегося на ней стержня. Левый конец доски помещают на зажатую в муфте лапку или кольцо другого штатива, чтобы доска расположилась горизонтально. Брусок трибометра нагружают гирей и привязывают к нему шнурок. Другой конец шнурка зацепляют за крючок динамометра.

Взяв динамометр за кожух с тыльной стороны, обращают его

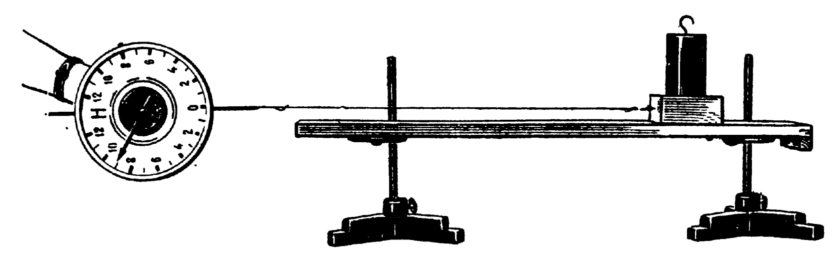


Рис. 1-32. Измерение силы трения покоя и скольжения.

циферблатом к классу и постепенно натягивают шнурок. Динамометр показывает увеличение силы трения покоя.

После достижения предельного значения этой силы брусок с гирей сдвигается с места. При равномерном движении бруска динамометр показывает меньшую величину — силу трения скольжения. Из полученных данных определяют коэффициенты трения покоя и скольжения. Повертывают брусок и кладут его на доску ребром. Повторяют опыт и убеждаются, что коэффициент трения не зависит от площади трущихся поверхностей.

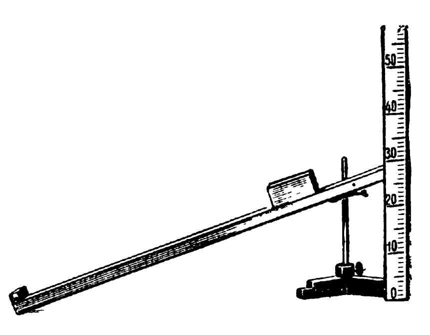


Рис. 1-33. Измерение коэффициентов трения покоя и скольжения.

2. Для определения коэффициента трения с помощью наклонной плоскости гирю снимают, левый штатив убирают, а доску располагают наклонно, как показано на рисунке 1-33. Постепенно поднимают правый конец доски, пока брусок не сдвинется с места. После этого измеряют демонстрационным метром высоту и основание наклонной плоскости и находят их отношение (тангенс угла наклона). В данном случае оно равно коэффициенту трения покоя.

Для определения коэффициента трения скольжения подбирают такой угол наклона доски, при котором брусок после небольшого толчка продолжал бы двигаться по доске равномерно. После этого измеряют высоту и основание наклонной плоскости и вычисляют коэффициент трения скольжения. Найденные из первого и второго опытов коэффициенты трения будут совпадать.

3. Учащиеся хорошо усваивают понятия о трении покоя и скольжения при подробном разборе следующего простого опыта.

Демонстрационный метр располагают горизонтально, оперев концами на указательные пальцы двух вытянутых рук. При медленном сближении пальцы поочередно скользят вдоль линейки так, что в конце концов обязательно сходятся на середине линейки. При раздвигании рук один палец все время остается на месте, а второй скользит и доходит до конца линейки.

В первой части опыта первым сдвигается относительно линейки тот палец, на который давление линейки слабее. Однако по мере приближения его к центру тяжести давление линейки возрастает и сила трения скольжения в определенный момент становится больше трения покоя на другом пальце. В этот момент первый палец останавливается и начинает двигаться второй. Так продолжается чередование движения двух опор до середины линейки.

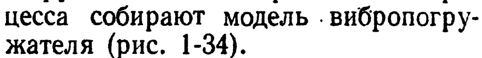
При движении в обратном направлении палец, начавший движение, удаляется от центра тяжести линейки, а другой палец все время остается на месте. Учащимся предлагается самим объяснить это явление.

ОПЫТ 20. ЯВЛЕНИЯ, НАБЛЮДАЕМЫЕ ПРИ ЗАМЕНЕ ТРЕНИЯ ПОКОЯ ТРЕНИЕМ СКОЛЬЖЕНИЯ

Оборудование: 1) электродвигатель универсальный, 2) штатив универсальный, 3) стакан емкостью 1 л с сухим песком, 4) модель автомобиля, 5) доска, 6) брусок деревянный (с нитью) от трибометра.

При изучении трения покоя и трения скольжения нельзя ограничиваться опытами, дающими только первое представление об этих явлениях. Важно ознакомить учащихся с очень распространенными явлениями, связанными с заменой одного вида трения другим. Таковы действия смычка, возбуждающего колебание струны, вытаскивание из доски предварительно согнутого гвоздя путем его поворачивания и др. Некоторые из подобных явлений полезно продемонстрировать.

1. В последнее время все чаще пользуются вибрационным методом погружения свай в рыхлый грунт. Для демонстрации этого про-


цесса собирают модель вибропогружателя (рис. 1-34).

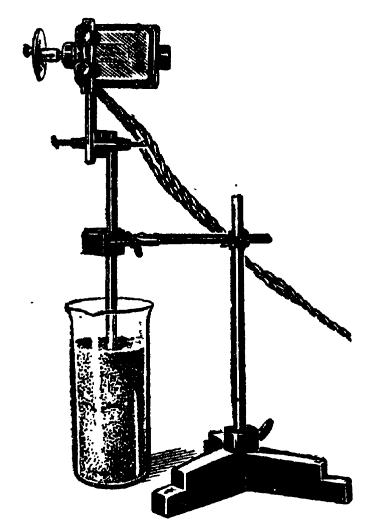


Рис. 1-34. Модель вибропогружателя.

Универсальный электродвигатель с помощью продольной муфты соединяют с коротким стержнем универсального штатива. Этот стержень будет выполнять роль сваи. Его ставят на поверхность сухого песка, насыпанного в стеклянный стакан, и охватывают (не зажимают) лапкой штатива, которая будет удерживать стержень в вертикальном положении.

Включают электродвигатель и показывают постепенное и довольно быстрое погружение стержня в песок. Трение покоя между песчинками велико. При включении электродвигателя возникают толчки, сдвигающие песчинки относительно друг друга, и трение покоя заменяется трением скольжения. Последнее легко преодолевается силой тяжести нагруженной сваи.

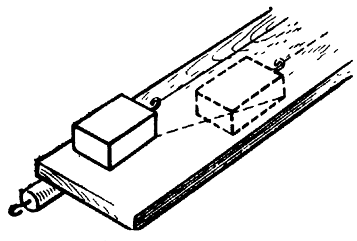


Рис. 1-35. Сравнение сил трения скольжения и покоя.

2. При резком торможении, особенно на скользкой дороге, автомобиль «заносит», т. е. он начинает двигаться, поворачиваясь вокруг вертикальной оси, и часто сползает с дорожного полотна, которое обычно несколько наклонено вправо.

Для демонстрации и объяснения этого явления кладут деревянный

брусок с крючком на край доски, расположенной на столе наклонно (рис. 1-35). В неподвижном состоянии брусок удерживается на доске трением покоя. Если же тянуть брусок горизонтально вдоль доски, то он двигается вперед и одновременно сползает к правому краю вниз.

После этого опыта брусок заменяют моделью автомобиля, выключив предварительно сцепление. Привязывают нить в середине кузова (вблизи центра тяжести) и тянут ее вдоль доски. Автомобиль катится по доске не сползая, так как между колесами и дорогой действует трение покоя. Затем все колеса модели полностью затормаживают (закладывают под колеса, например, комочки бумаги). Теперь автомобиль сползает с доски и поворачивается, как это обычно и бывает при резком торможении, когда сцепление колес с дорогой нарушается и трение покоя заменяется трением скольжения.

ОПЫТ 21. УГОЛ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА НАСЫПИ

Оборудование: 1) чистый сухой песок, 2) пшено, 3) льняное семя 4) проекционный аппарат, 5) кювета вертикальная для проекции, 6) воронка.

Различные сыпучие тела при насыпании их горкой образуют конус, у которого угол при вершине зависит от формы и характера поверхности частиц. Его величина связана с коэффициентом трения покоя; это приходится учитывать при проектировании строительных и складских работ. Учащимся полезно показать на опыте образование углов естественного откоса сыпучих тел с различными коэффициентами трения покоя.

Для проведения опыта перед конденсором проекционного аппарата устанавливают кювету с чисто протертыми стеклами и проецируют ее на экран. В кювету вставляют на пробке небольшую стеклянную воронку и медленно насыпают в нее, например, сухой песок. На экране сначала будет видна струйка песка, а затем постепенно появится и песчаная горка (рис. 1-36).

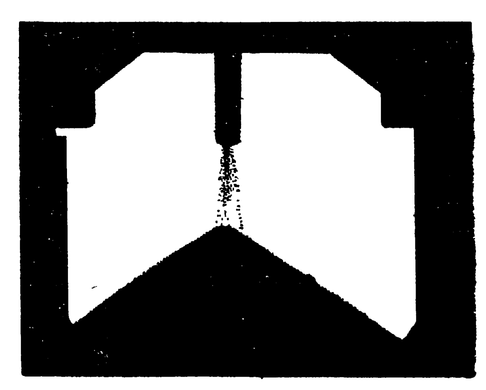


Рис. 1-36. Проекция откоса насыпи.

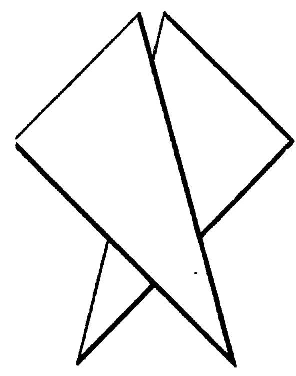


Рис. 1-37. Простейший угломер.

Повторяют опыт с другими сыпучими телами, например пшеном или льняным семенем.

Чтобы сравнить образовавшиеся углы откоса, применяют следующий простой прием. Разрезают восьмую часть листа писчей бумаги по диагонали, складывают, как показано на рисунке 1-37, и приставляют к стенке кюветы. Сдвигая листки, добиваются совпадения угла насыпи с углом, образованным листками, и фиксируют этот угол, загнув верхние края сложенных листков.

Сравнивая углы откоса, убеждаются, что они заметно отличаются друг от друга.

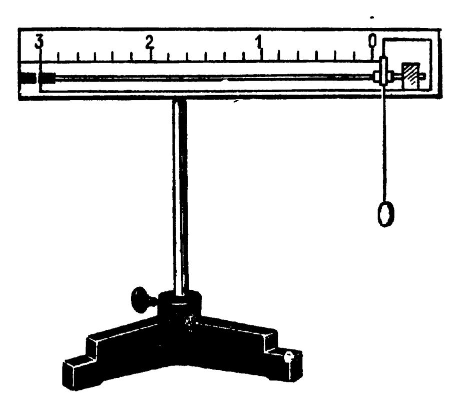
ОПЫТ 22. ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ТЕЛ В ГАЗЕ ОТ СКОРОСТИ, ФОРМЫ И СЕЧЕНИЯ ТЕЛ

Оборудование: 1) весы чувствительные неравноплечие с набором тел разной формы, 2) воздуходувка, 3) штатив универсальный.

В отличие от силы сухого трения сила сопротивления движению в жидкости или газе зависит не только от направления, но и от абсолютного значения скорости. Кроме того, она зависит от площади поперечного сечения и формы тела.

Для демонстрации этих зависимостей применяют чувствительные неравноплечие весы, которые закрепляют в муфте универсального штатива (рис. 1-38). Из двух круглых пластинок, входящих в набор тел, прилагаемый к весам, выбирают одну бóльшего диаметра и закрепляют в держателе весов. Рейтер помещают на рычаге против нулевого деления и вращением противовеса добиваются совпадения указателя с меткой на раме весов.

Установив воздуходувку на расстоянии 20—25 см от пластинки, как показано на рисунке, включают ее. При этом весы выходят из равновесия. Передвинув рейтер к концу рычага и изменяя скорость воздушного потока (это можно сделать посредством реостата, регулятора напряжения или изменением расстояния), восстанавливают равновесие. Положение рейтера показывает в условных



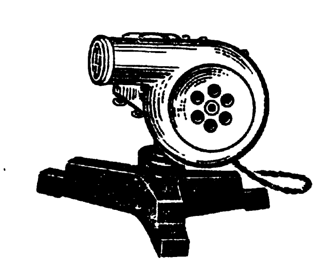


Рис. 1-38. Установка для демонстрации аэродинамического сопротивления.

единицах значение аэродинамического сопротивления при данных условиях.

Слегка изменяют скорость воздушного потока и обращают внимание учащихся на отклонение рычага вверх или вниз, что свидетельствует о влиянии скорости потока на величину сопротивления.

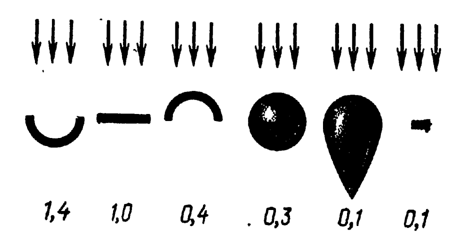


Рис. 1-39. Расположение тел различной формы по их относительному сопротивлению воздушному потоку.

После этого закрепляют на весах другую круглую пластинку с диаметром в три раза меньше. Восстановив равновесие передвижением рейтера, показывают, что сопротивление уменьшилось в 9 раз, т. е. во столько раз, во сколько уменьшилась площадь поперечного сечения тела.

Зависимость сопротивления от формы тела демонстрируют, последовательно испытывая на тех же весах тела из прилагаемого комплекта, начиная с полушара, обращенного вогнутой поверхностью навстречу потоку.

Полезно расположить тела в ряд с обозначением относительных значений сопротивления, приняв, например, сопротивление большой круглой пластинки за единицу (рис. 1-39). Обращают внимание, что малая круглая пластинка имеет такую же величину сопротивления воздушному потоку, как обтекаемое тело, площадь поперечного сечения которого значительно больше.

ОПЫТ 23. РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ШАРИКА В ТРУБКЕ С ВОДОЙ

Оборудование: 1) трубка стеклянная длиной около 1 м, 2) шарик стальной, 3) метроном.

Зависимость силы сопротивления движению тела в жидкости демонстрируют при помощи стеклянной трубки, заполненной прозрачной жидкостью, и помещенного внутри нее стального шарика. Для этого опыта берут стеклянную трубку длиной 70—100 см с внутренним диаметром, незначительно превышающим диаметр шарика. Трубку с обоих концов закрывают пробками, поместив предварительно внутрь шарик и наполнив ее жидкостью так, чтобы не осталось пузырька воздуха, При перевертывании трубки шарик сначала опускается ускоренно, но по мере увеличения его скорости сила сопротивления возрастает (как и при движении в воздухе). Когда сила сопротивления становится равной силе тяжести, шарик в трубке начинает опускаться равномерно. Аналогичное явление имеет место при падении парашютиста после раскрытия парашюта. Шарик опускается очень медленно так, что легко удается выявить равномерность его движения.

Полезно на трубке нанести деления (например, надеть резиновые колечки) для отсчета проходимого шариком пути. В качест-

ве жидкости может быть взята вода, глицерин, подсолнечное масло. От ее вязкости будет зависеть скорость движения.

При наблюдении движения полезно воспользоваться метрономом, настроив его на такую частоту, чтобы через каждые несколько ударов шарик проходил мимо меток, расположенных на равных расстояниях друг от друга.

ОПЫТ 24. ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Оборудование: 1) кинофильм «Всемирное тяготение» или «О всемирном тяготении», 2) кинопроектор.

Ознакомить учащихся с явлением гравитационного взаимодействия тел следует посредством демонстрации учебного кинофильма. В настоящее время на эту тему в прокате имеются два кинофильма.

1. Кинофильм «Всемирное тяготение»[1] начинается показом разнообразных явлений (падение мяча, движение планет и др.), совершающихся под действием одних и тех же сил — сил тяготения. Закон всемирного тяготения, открытый Ньютоном, измерение величины постоянной тяготения английским физиком Кэвендишем (демонстрируются крутильные весы Кэвендиша, установленные в МГУ, объясняется принцип их действия и устройства), определение зависимости силы тяготения от расстояния между телами, экспериментально установленной Жолли (с демонстрацией рычажных весов и опыта Жолли), — все эти этапы изучения всемирного тяготения отражены в фильме.

Фильм заканчивается рассмотрением тех фактов и явлений, которые можно объяснить, зная закон всемирного тяготения. Это приливы и отливы на Земле, различие ускорения свободного падения на Земле, Луне и Юпитере, применение закона всемирного тяготения к расчетам траекторий полетов искусственных спутников Земли и космических кораблей к планетам Солнечной системы.

2. Кинофильм «О всемирном тяготении»[2] посвящен закону всемирного тяготения, истории его открытия и изучения. О притяжении не только звезд и планет друг к другу, но и малых тел учащиеся узнают, знакомясь с устройством гравископа, установленного в Московском планетарии. Сближение цилиндра гравископа и шара длится 25 мин, но средствами кино опыт показывается за несколько секунд.

Возможность измерения силы притяжения двух тел выясняется при рассмотрении принципа действия крутильных весов, которыми воспользовался английский ученый Генри Кэвендиш при определении постоянной тяготения.

Далее в фильме исследуется движение тел в поле тяготения, устанавливается независимость ускорения свободного падения от

---

[1] Всемирное тяготение. 1 ч. Свердловская киностудия научно-популярных фильмов, 1961. Продолжительность демонстрации — 9 мин.

[2] О всемирном тяготении. 2 ч. «Школфильм», 1970.

направления движения, вводится понятие невесомости, выясняется вопрос о том, какие факторы влияют на форму траектории движения космических кораблей.

О том, как человек заставил «работать» тяготение, показывает устройство приливной электростанции. Дано объяснение таких явлений, как приливы и отливы, гравиметрический метод обнаружения залежей полезных ископаемых.

§ 6. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ ДВИЖЕНИЯ

ОПЫТ 25. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ УПРУГОСТИ

Оборудование: 1) пружины спиральные с крючками — 2 шт., 2) гири массой 1 и 2 кг с крючками, 3) штатив универсальный, 4) шкала демонстрационная самодельная с нулем посередине.

При демонстрации колебательного движения под действием силы упругости важно, чтобы эти колебания были достаточно медленными и слабо затухающими. Это даст возможность учащимся без особого напряжения следить за всеми фазами движения: определять направление силы, скорости и ускорения, наблюдать за их изменением.

У верхнего конца стойки штатива подвешивают спиральную пружину, а внизу зажимают вертикально в лапку штатива самодельную шкалу.

На свободный конец пружины подвешивают гирю 1 кг и укрепляют шкалу так, чтобы ее нулевое деление было расположено против центра тяжести неподвижной гири (рис. 1-40).

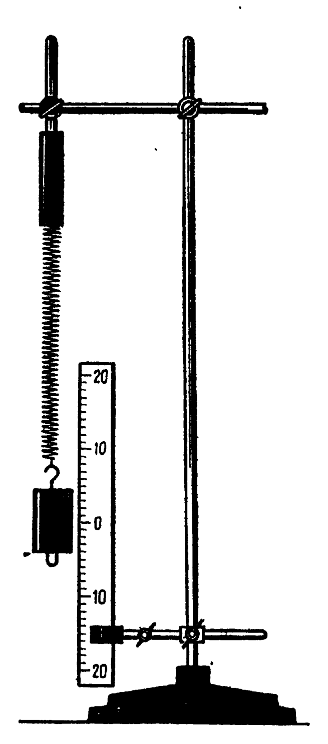


Рис. 1-40. Установка для демонстрации движения под действием силы упругости и силы тяжести.

Груз приводят в колебательное движение вдоль вертикальной линии и дают учащимся время наблюдать движение груза, обращая внимание на его характерные моменты.

В описанном опыте на гирю, кроме силы упругости, действует еще и сила тяжести. Но она не влияет на характер движения гири, так как постоянна по величине и направлению и только лишь смещает гирю ниже положения равновесия, около которого происходят колебания.

Чтобы компенсировать силу тяжести, с помощью самодельного хомутика с

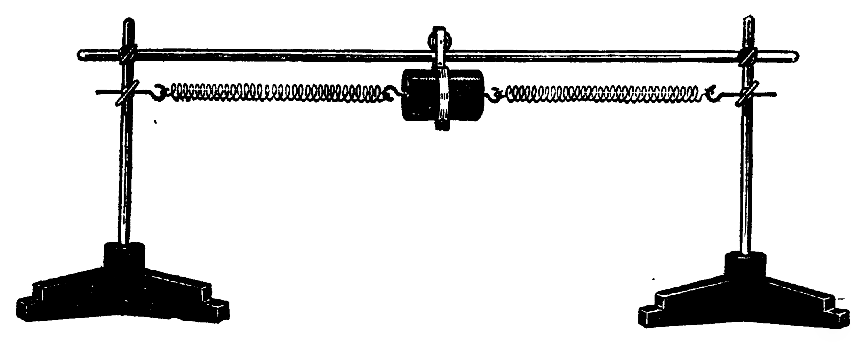


Рис. 1-41. Установка для демонстрации движения тела под действием силы упругости.

блоком подвешивают гирю массой 2 кг на горизонтально закрепленном стержне штатива (рис. 1-41). Затем между крючками гири и вертикальными стойками слегка натягивают две одинаковые пружины. Приведя гирю в колебательное движение, повторяют наблюдение. В данной установке сила тяжести все время уравновешена реакцией опоры.

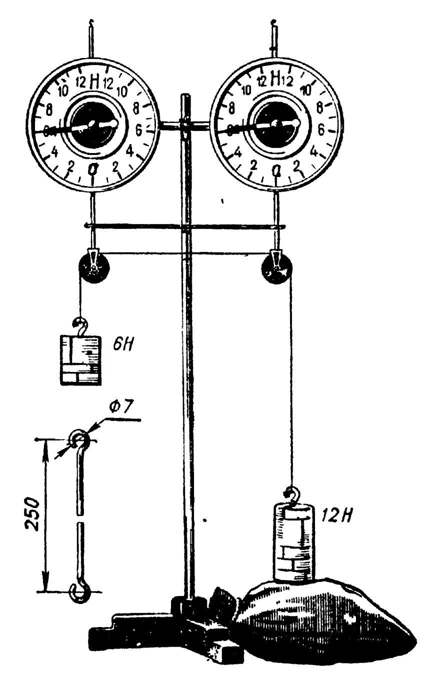


Рис. 1-42. Установка для демонстрации изменения веса тел.

ОПЫТ 26. ИЗМЕНЕНИЕ ВЕСА ТЕЛА ПРИ РАВНОПЕРЕМЕННОМ ДВИЖЕНИИ ПО ВЕРТИКАЛИ

Оборудование: 1) динамометры демонстрационные, 2) грузы наборные массами 1 и 2 кг, 3) штатив универсальный, 4) нить длиной 1,5 м, 5) небольшой мешочек с песком.

Установка для проведения опыта изображена на рисунке 1-42. Чтобы нить, перекинутая через блоки, не стягивала стержни динамометров, между ними необходимо вставить распорку из проволоки. Концы распорки надо согнуть колечком и надеть на стержни поверх блоков. Очевидно, в этой установке натяжение горизонтального участка нити не будет влиять на показания динамометров, поэтому каждый из них будет измерять силу натяжения нити с висящим на ней грузом, т. е. вес груза.

Пока более тяжелый груз 12 Н стоит на столе, оба динамометра будут показывать вес левого груза, т. е. 6 Н.

Если теперь, взявшись рукой за меньший груз, подтянуть правый груз вверх, оба динамометра будут показывать 12 Н, т. е. вес правого груза.

После этого, взяв рукой правый груз, поднимают его к блоку и отпускают. Во время ускоренного движения грузов оба динамометра показывают одинаковое значение — приблизительно по 8 Н. Следовательно, левый груз при ускоренном движении вверх находится в состоянии перегрузки и его вес на 2 Н больше первоначального, а правый груз при ускоренном движении вниз весит на 4 Н меньше.

В этом опыте сила, равная разности 12 Н — 6 Н = 6 Н, сообщает обоим грузам одинаковые ускорения, — следовательно, она распределяется на два груза пропорционально их массам. Меньший груз получает ускорение под действием силы 2 Н, а правый — под действием силы 4 Н.

Постепенно уменьшают массу левого груза и замечают, что ускорение движения увеличивается, а показания динамометра во время движения уменьшаются, что указывает на уменьшение веса правого груза. Далее отцепляют левый груз и, отпустив нить, дают правому грузу свободно падать. Естественно, что во время его падения динамометр будет показывать нуль. Это значит, что груз находится в состоянии невесомости, когда действующая на груз сила тяжести сообщает ему ускорение свободного падения.

В начале опыта, когда отпускают поднятый вверх большой груз, надо сделать так, чтобы рука следовала рядом с движущимся грузом. На высоте около 30 см над столом груз надо плавно подхватить, не давая ему удариться о стол. Эта операция легко удается после небольшой тренировки. Во время опыта учитель должен следить за движущимся грузом, предоставив учащимся наблюдение за показаниями динамометров. Когда демонстрируется свободное падение правого груза, надо на стол положить небольшой мешочек с песком. Кроме грузов в 1200 и 600 г, возможны и другие сочетания: 900 и 450 г; 600 и 300 г. Для устных расчетов удобно, чтобы разность их масс делилась на 3.

В этом опыте лучше пользоваться наборными грузами 1 и 2 кг. Каждый из них состоит из основания с крюком, на который насаживаются цилиндрические гири различной величины. Наборные грузы изображены на рисунке 1-43.

ОПЫТ 27. НЕВЕСОМОСТЬ ПРИ ПАДЕНИИ ТЕЛА

Оборудование: 1) груз наборный массой 2 кг, 2) штатив универсальный, 3) шнур, 4) полоска бумаги, 5) мешочек с песком, 6) приборы для демонстрации невесомости тела, находящегося в свободном полете.

1. На прочном шнурке, пропущенном через кольцо штатива, подвешивают груз 2 кг, состоящий из отдельных цилиндрических гирь. На другом конце шнура делают петлю, которую зацепляют

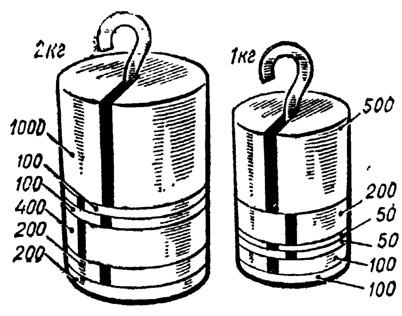


Рис. 1-43. Наборные грузы.

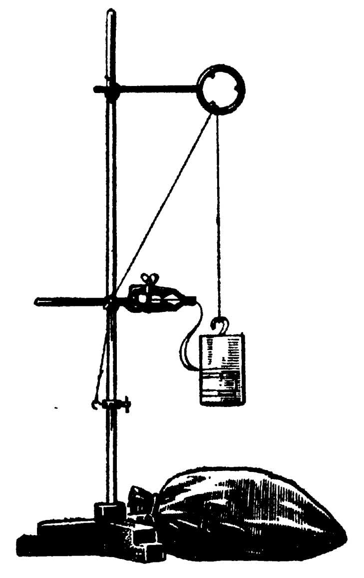


Рис. 1-44. Установка для демонстрации невесомости.

за крючок муфты на стержне от штатива, как показано на рисунке 1-44.

Между гирями наборного груза закладывают полоску газетной или промокательной бумаги и свободный ее конец прочно зажимают в лапке штатива.

Отцепив петлю шнурка, медленно отпускают груз. Последний натягивает и разрывает бумажную полоску. Из этого можно заключить, что бумажная полоска была достаточно сильно прижата гирей. Заменяют порванную полоску бумаги такой же целой полоской, отцепляют шнур и отпускают его. Груз свободно падает, а бумажная полоска, освободившись, повисает на лапке штатива.

Опыт показывает, что при свободном падении давление гири на опору отсутствует, т. е. гиря при падении находится в состоянии невесомости.

2. Второй опыт значительно расширяет представление о невесомости. Он показывает, что тело будет находиться в состоянии невесомости не только при падении вниз, но и при любом другом движении, если оно происходит под действием только силы тяготения.

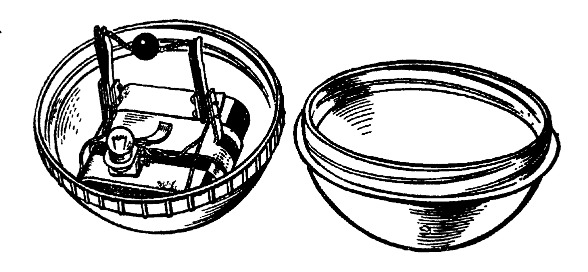
Для проведения опытов целесообразно использовать самодельный прибор, изображенный на рисунке 1-45[1]. Он представляет собой прозрачный шар, внутри которого находится тело, подвешенное на двух нитях к упругим контактным пластинам. Схематически прибор изображен на рисунке 1-46. Движение тела ограничено так, что оно может смещаться, натягивая одну или обе нити и размыкая при этом один или оба контакта. Вследствие этого электрическая цепь, состоящая из лампочек и батареи гальванических элементов, оказывается разомкнутой и лампочки не горят.

Если шар подбрасывать вверх и ловить или перебрасывать его

---

[1] Прибор был представлен на Всесоюзный конкурс на лучшие наглядные пособия и учебное оборудование в Москве А. А. Жуковым (г. Хабаровск).

Рис. 1-45. Прибор для демонстрации невесомости.



из рук в руки через весь класс, то наблюдаемое при этом горение лампочек свидетельствует, что контакты замкнуты, т. е. нити, на которых подвешено тело, не натянуты. Из этого можно заключить, что находясь в полете, подвешенное в шаре тело в любом положении находится в состоянии невесомости.

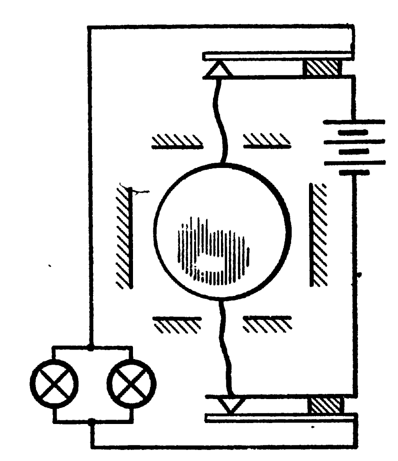


Рис. 1-46. Схема прибора для демонстрации невесомости.

Прибор может служить интересным объектом для работы юных конструкторов. При его изготовлении необходимо учесть следующее:

1. Надежное ограничение возможных смещений тела в любых направлениях, обеспечивающее сохранность нитей и контактов при резких торможениях.

2. Хорошая видимость хотя бы одной из горящих лампочек с любого направления.

Чтобы исключить возможность падения прибора на пол, можно подвесить его к потолку на прочном шнурке.

Если в приборе центр массы тела совмещен с центром массы всего прибора, то в свободном полете лампочки будут гореть не только при поступательном движении, но и при вращении прибора. Именно так и следует размещать детали прибора, поскольку вопросы создания в космическом корабле искусственной тяжести в школе не изучаются. Однако выполнить это не очень просто. Если это не будет сделано, то при бросании прибора следует избегать его вращения.

ОПЫТ 28. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ПОСРЕДСТВОМ ВРАЩЕНИЯ

Оборудование: 1) прибор «Тела неравной массы», 2) тахометр демонстрационный, 3) штатив демонстрационный.

Если сила, удерживающая тело на окружности, равна весу тела, то центростремительное ускорение движущегося тела равно ускорению свободного падения. Чтобы его определить, один из

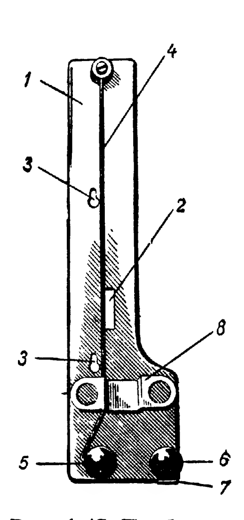


Рис. 1-47. Прибор для демонстрации независимости действия сил.

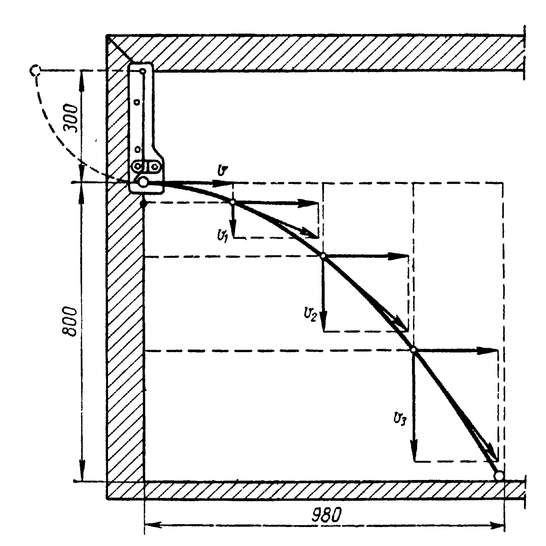


Рис. 1-48. Установка для исследования движения тела, брошенного горизонтально.

цилиндров от прибора «Тела неравной массы» взвешивают на динамометре от этого же прибора (см. рис. 1-24). Определив вес цилиндра, собирают установку, изображенную на рисунке 1-25. Прибор приводят во вращение с такой угловой скоростью, чтобы сила натяжения пружины динамометра равнялась весу цилиндра. Скорость вращения измеряют тахометром. Измерив далее радиус вращения цилиндра, определяют ускорение по формуле

$$g = 4\pi^2 n^2 r.$$

ОПЫТ 29. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ГОРИЗОНТАЛЬНО

Оборудование: 1) прибор для демонстрации одновременности падения по параболе и вертикали, 2) метр демонстрационный.

Основанием применяемого в этом опыте прибора служит панель *1* (рис. 1-47) с прямоугольным вырезом *2* для крепления в лапке штатива и двумя отверстиями *3* для насаживания на шурупы, ввернутые в раму классной доски. На панели подвешен стержень *4*. Нижний конец стержня отогнут под прямым углом и на него свободно насажен стальной шарик *5*, просверленный на две трети диаметра. Второй шарик *6* устанавливают на горизонтальной полке кронштейна *7*, в которой выдавлена небольшая лунка. Упругая скоба *8* служит упором, ограничивающим движение стержня вправо, а также зажимом для обоих шариков при хранении прибора.

Для демонстрации движения тела, брошенного горизонтально, прибор насаживают на два шурупа, ввернутых слева в раму

классной доски, как показано на рисунке 1-48. Шарик *6* (рис. 1-47) в данном опыте не нужен и его зажимают под правый конец скобы *8*, а кронштейн *7* поворачивают, освобождая путь шарику *5*. На лоток доски, где будет падать шарик (98 см), кладут смоченную водой большую тряпку.

Взяв рукой шарик, отводят его вместе со стержнем влево на высоту, равную длине стержня (30 см), и отпускают. Шарик вместе со стержнем падает, описывая дугу. Достигнув упора, стержень останавливается, а шарик продолжает по инерции двигаться горизонтально и под действием силы тяжести описывает параболу. Положенная на лоток тряпка полностью поглощает энергию шарика (он остается на месте своего падения).

Анализируя движение шарика, рассматривают его как свободное падение в системе координат, перемещающейся равномерно в горизонтальном направлении со скоростью, достигнутой шариком к моменту соскальзывания со стержня.

Время падения определяют по формуле

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 80}{1000}} = 0{,}40 \text{ с}.$$

Далее определяют пути (5, 15, 25 и 35 см), проходимые при свободном падении за последовательные равные промежутки времени, по 0,1 с каждый, и соответствующие отрезки отмечают вдоль левого края доски.

Путь, пройденный упомянутой выше системой координат в горизонтальном направлении, делят на четыре равных отрезка и на пересечениях вертикалей и горизонталей, проведенных через точки деления, находят положения шарика в каждый из рассматриваемых моментов. Проведя через найденные точки плавную кривую, получают траекторию движения шарика в неподвижной системе координат.

Опыт повторяют и показывают учащимся полное совпадение траектории движения с вычерченной параболой.

Основная часть опыта на этом заканчивается. Однако полезно продолжить анализ результатов опыта:

1) вычислить по уравнению $v = \sqrt{2gh}$ скорость вылета шарика:

$$v = \sqrt{2 \cdot 1000 \cdot 30} = \sqrt{6 \cdot 10^4} \approx 240 \text{ см/с};$$

2) вычислить по уравнению $v_t = gt$ вертикальные составляющие скорости в каждый из выбранных моментов времени: $v_1 \approx$ ≈ 100 см/с; $v_2 \approx 200$ см/с; $v_3 \approx 300$ см/с; $v_4 \approx 400$ см/с;

3) построением определить мгновенные скорости движения шарика по параболе;

4) вычислить дальность падения шарика и сравнить ее с расстоянием, на котором на самом деле упал шарик.

ОПЫТ 30. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ

Оборудование: 1) метр демонстрационный, 2) циркуль-измеритель демонстрационный, 3) бачок водонапорный с резиновой трубкой и наконечником, 4) столик подъемный, 5) штатив универсальный, 6) кювета для опытов с водой.

После опыта 29, в котором движение тела, брошенного горизонтально, было исследовано достаточно подробно, опыт с движением тела, брошенного под углом к горизонту, целесообразно провести в порядке подготовки к предстоящему практикуму. В этом опыте надо раскрыть зависимость дальности падения и высоты поднятия тела от угла бросания. Ниже описаны два варианта проведения опыта.

1. Установка для проведения опыта изображена на рисунке 1-49. Наконечник для получения водяной струи (см. рисунок в кружке) представляет собой металлическую трубку, закрытую с одного конца, с отверстием около 1 мм, просверленным на ее боковой поверхности. Наконечник через эбонитовый кран соединяют резиновой трубкой с водонапорным бачком и зажимают в горизонтальном положении в муфте штатива. Демонстрационный метр устанавливают горизонтально в двух таких же муфтах и располагают так, чтобы нулевое деление шкалы было против наконечника. Открыв кран, повертывают наконечник, добиваясь наибольшей дальности вытекания струи. Затем наконечник зажимают в муфте и устанавливают водонапорный бак на такой высоте, чтобы дальность падения воды равнялась 60 см (число, удобное для деления на 2 и 4), и закрывают кран. На этом заканчивается подготовка установки.

В начале демонстрации струю направляют горизонтально, затем постепенно увеличивают угол наклона к горизонту от 0 до 90°.

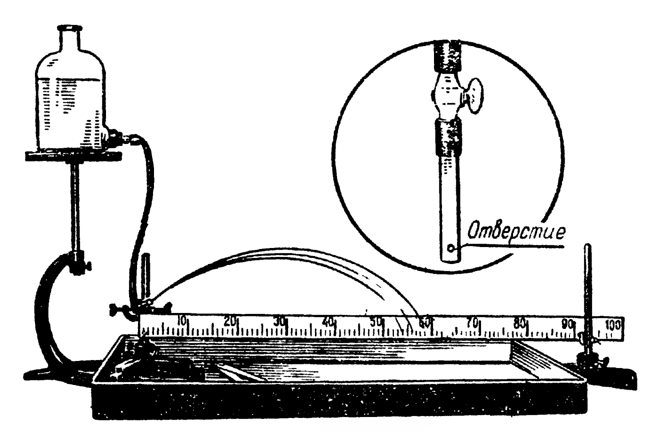
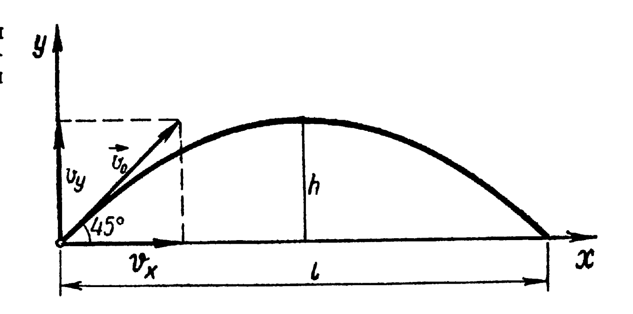


Рис. 1-49. Демонстрация зависимости дальности и высоты поднятия тела от угла бросания.

Рис. 1-50. Траектория движения тела, брошенного под углом 45° к горизонту.



Обращают внимание, что при увеличении угла дальность полета струи сначала возрастает, а затем начинает убывать и при угле 90° равна нулю. Высота же непрерывно увеличивается и достигает максимума при угле 90°.

Повторяя отдельные этапы опыта, устанавливают, что наибольшая дальность (60 см) достигается при угле 45°. При этом с помощью циркуля-измерителя находят, что высота подъема струи равна 15 см. Когда струя направлена вертикально вверх, высота поднятия достигает максимального значения и равна 30 см — половине максимальной дальности.

Если t — время достижения частицей воды вершины траектории (рис. 1-50), v_x и v_y — проекции вектора $\vec{v}_0$ начальной скорости на оси x и y, а l — дальность, то $\frac{v_y}{2} \cdot t = h$, а $v_x \cdot 2t = l$. Но при угле 45° $|v_x| = |v_y|$. Следовательно, $\frac{2h}{t} \cdot 2t = l$, или $h = \frac{l}{4}$, т. е. высота поднятия струи, направленной под углом 45°, равна четверти ее дальности падения.

При этом $v_y^2 = 2gh$, откуда

$$h = \frac{v_y^2}{2g}.$$

Но

$$v_y = \frac{|\vec{v}_0|}{\sqrt{2}},$$

тогда

$$h = \frac{|\vec{v}_0|^2}{4g}.$$

При вертикальном направлении струи частица воды поднимается на максимальную высоту H. Тогда $v_0^2 = 2gH$, откуда

$$H = \frac{|v_0|^2}{2g}.$$

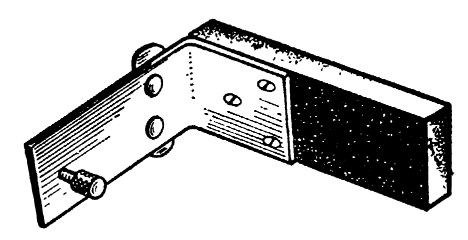


Рис. 1-51. Отражающая плитка.

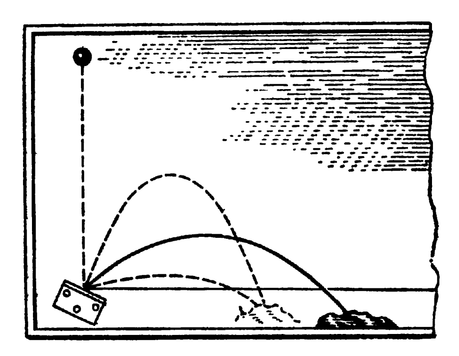


Рис. 1-52. Расположение плитки и шарика для демонстрации движения тела по параболе.

Сравнивая h и H, находим:

$$H = 2h.$$

Приведенные рассуждения могут предшествовать выполнению опыта. Однако ими можно воспользоваться и после проведения эксперимента для обоснования полученных результатов.

2. Для демонстрации опыта можно воспользоваться легким и упругим шариком для настольного тенниса, отскакивающим в нужном направлении от массивной и твердой плитки. Такая плитка размером приблизительно $80 \times 80 \times 15$ мм может быть изготовлена самодельно из какого-либо пластика или твердой древесины. К ней прикрепляют жесткий уголок с регулировочным винтом и двумя отверстиями для резиновых присосок (рис. 1-51).

Перед опытом плитку закрепляют с помощью двух присосок, слегка смазанных мылом, на поверхности классной доски у ее нижнего края под углом 22,5° к горизонту. У верхнего края доски точно над плиткой устанавливают отдельную резиновую присоску. Если теперь к последней приставить шарик, слегка прижать его линейкой и отпустить, то шарик, падая, ударится о плитку. Отскочив от плитки под углом $22{,}5 \cdot 2 = 45°$ к горизонту, он опишет параболу (рис. 1-52).

Если доска имеет широкий лоток, прикрепленный вдоль нижнего края, надо в месте падения шарика положить обильно смоченную водой большую тряпку. Она будет полностью гасить энергию шарика при его падении и фиксировать конечное положение. Если лотка нет или он слишком узок, ниже доски на табурете надо поставить достаточно большой ящик или коробку для улавливания шарика. В этом случае точку траектории у нижнего края доски отмечают мелом при нескольких повторных бросаниях шарика. Так же отмечают вершину параболы, после чего вычерчивают параболу от руки и, вновь пустив шарик, показывают совпадение траектории движения с вычерченной параболой.

Опыт повторяют, устанавливая плитку для бросания шарика под углами больше и меньше 45°. Показывают, что дальность падения шарика в обоих случаях оказывается меньше.

Опыты 29 и 30 подготавливают учащихся к предстоящему практикуму. Учащихся следует ознакомить с оборудованием работы «Изучение движения тела, брошенного горизонтально, вертикально и под углом к горизонту»[1], устройством баллистического пистолета и обращением с ним.

ОПЫТ 31. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОЙ СИЛЫ

Оборудование: 1) вращающийся диск, 2) уровень.

В качестве одного из примеров возникновения центростремительной силы целесообразно показать движение катка на вращающемся диске. Для демонстрации этого опыта диск располагают на подставке с уравнительными винтами.

Чтобы установить диск строго горизонтально, на него кладут уровень и повертывают диск сначала так, чтобы уровень занял положение *а* (рис. 1-53). Действуя винтом *1*, добиваются горизонтального положения уровня, затем повертывают диск на 90°, чтобы уровень оказался в положении *б*, и проделывают ту же операцию, действуя винтом *2*. После этого для контроля поворачивают диск вокруг оси; горизонтальность уровня должна сохраняться во всех положениях.

Закрепляют на диске желоб и из двух катков, прилагаемых к диску, выбирают более массивный. Прикрепляют каток тесьмой к ролику и ставят на желоб. Длину тесьмы подбирают так, чтобы радиус вращения катка не превышал 30 см.

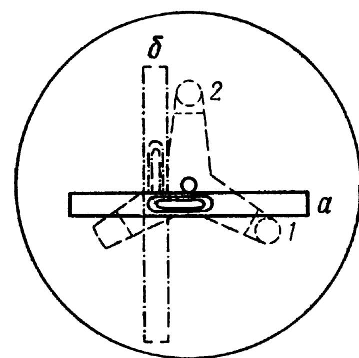


Рис. 1-53. Горизонтальная установка диска при помощи уровня.

Для демонстрации центростремительного ускорения каток ставят на расстоянии 10—15 см от оси диска и вращают диск (рис. 1-54). При повороте каток катится по желобу, двигаясь по инерции прямолинейно, пока не натянется тесьма. Сила упругости искривляет траекторию движения катка, заставляя его двигаться по окружности.

Опыт повторяют, освободив каток от тесьмы. Каток двигается, как и в предыдущем опыте,

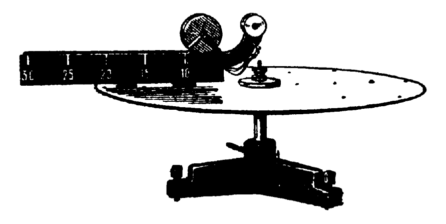


Рис. 1-54. Установка для демонстрации возникновения центростремительной силы.

---

[1] Практикум по физике в средней школе. Под ред. А. А. Покровского. М., 1973, с. 55—59.

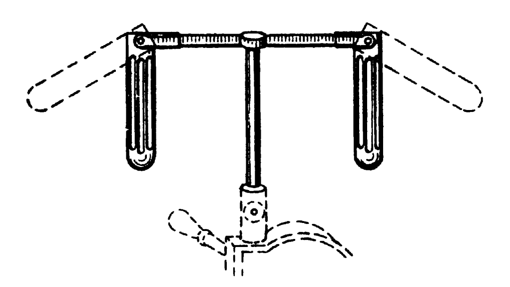


Рис. 1-55. Модель центрифуги.

но роль центростремительной силы в этом случае выполняет реакция упора, закрепленного на наружном конце желоба.

ОПЫТ 32. ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ В ТЕХНИКЕ

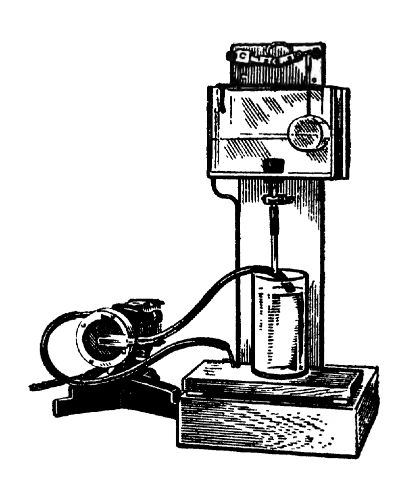
Оборудование: 1) модель центрифуги, 2) центробежная машина, 3) модель центробежного насоса, 4) электродвигатель универсальный, 5) поплавковый выключатель, 6) бак водонапорный с питающей трубкой и выпускным краном, 7) сосуд стеклянный цилиндрический на 1 л, 8) трубки резиновые, 9) пробирки, 10) экран для подсвета.

1. Модель центрифуги (рис. 1-55) закрепляют в патроне центробежной машины. Перед демонстрацией центрифугирования в три одинаковые пробирки наливают мутную воду, полученную взбалтыванием ее с зубным порошком, и все пробирки показывают учащимся на фоне просвечивающего экрана. Оставляют одну пробирку перед экраном, а две другие вставляют в держатели центрифуги и приводят машину на 1—2 мин в такое быстрое вращение, чтобы пробирки приняли почти горизонтальное положение. После этого сравнивают на просвет мутную воду в контрольной пробирке с водой, которая была в центрифуге, и убеждаются, что вода после опыта стала значительно светлее, а частицы мела отложились на дне в виде тонкого непрозрачного слоя.

Полученный результат объясняют следующим образом. Быстрота оседания твердых частиц в жидкости пропорциональна разности сил тяжести твердой частицы и жидкости в том же объеме. Эффект, получаемый от вращения, идентичен эффекту увеличения силы тяжести. Поэтому увеличение скорости вращения приводит не только к увеличению каждой из этих сил, но и их разности, т. е. к увеличению скорости оседания частиц.

2. Для демонстрации устройства и действия центробежного насоса собирают установку, изображённую на рисунке 1-56, и вывешивают учебную таблицу «Центробежный насос» (рис. 1-57). Модель насосной установки собирают в следующем порядке. Соединяют центробежный насос с универсальным электродвигателем, на краях водонапорного бака устанавливают поплавковый выключатель; под выпускной кран бака ставят стакан с водой, уровень которой должен быть обязательно выше верхнего патрубка насоса, иначе при остановке насоса вода из него вытечет обратно в стакан.

Насадив на входной патрубок насоса резиновую трубку, опускают ее до дна стакана. Второй резиновой трубкой соединяют выходной патрубок насоса с питающей трубкой водонапорного бака и через нее высасывают воду, пока она не заполнит полость насоса.



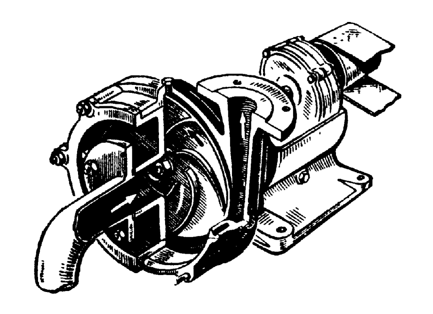


Рис. 1-57. Учебная таблица «Центробежный насос».

←Рис. 1-56. Установка с автоматическим регулированием уровня воды.

После этого наливают в водонапорный бак воду почти до поплавка.

Концы шнура от электродвигателя, которые обычно бывают замкнуты или присоединены к реостату, присоединяют к зажимам поплавкового выключателя.

Собранная таким способом установка готова к действию.

Перед включением тока учащимся показывают модель центробежного насоса и разъясняют его устройство, пользуясь учебной таблицей.

Действие центробежного насоса, нагнетающего воду в бак, можно объяснить следующим образом. Пока вода не поднялась на большую высоту, сила давления водяного столба не может сообщить частицам воды в камере насоса центростремительного ускорения. Вода в этом случае при вращении ротора движется по спирали и через выходное отверстие поднимается вверх по трубе. Когда давление водяного столба станет достаточным для сообщения частицам воды необходимого центростремительного ускорения, движение воды в камере насоса будет происходить не по спирали, а по окружности. Нагнетание воды прекратится, и насос станет работать вхолостую.

Полезно обратить внимание учащихся на необходимость предварительного наполнения насоса водой.

Электродвигатель включают в сеть переменного тока. По мере наполнения верхнего сосуда водой поплавок медленно поднимается. В некоторый момент выключатель отключает ток. После этого открывают кран, вода вытекает в нижний сосуд. При опускании поплавка снова включается ток, и дальше процесс автоматически повторяется.

Скорость вытекания воды необходимо отрегулировать так, чтобы опоражнивание бака происходило медленнее наполнения. При работе насоса нельзя допускать подсасывания воздуха, так

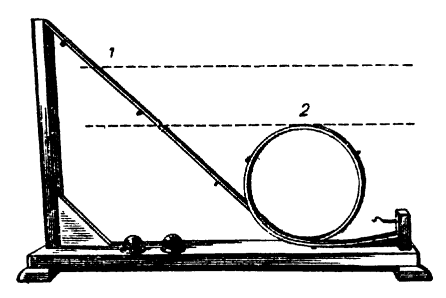


Рис. 1-58. Центробежная дорога.

как при попадании воздуха в полость насоса последний перестает работать и его приходится наполнять вновь таким способом, как это было описано выше.

ОПЫТ 33. ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ)

Оборудование: 1) метр демонстрационный, 2) центробежная дорога, 3) шарики разной массы, 4) центробежная машина, 5) диск с цепочкой, 6) электродвигатель универсальный, 7) реостат на 400—600 Ом, 8) штатив универсальный.

1. На приборе (рис. 1-58) определяют, с какой минимальной высоты надо пустить шарик, чтобы он обегал петлю, не отрываясь от нее в верхней точке. Проще всего эта задача решается на основании закона сохранения энергии.

В искомой точке *1* потенциальная энергия шарика относительно уровня *2* равна mgh. В точке *2* она превращается в кинетическую энергию, равную $\frac{mv^2}{2}$. Считая, что энергия превращается без каких-либо потерь (вращательное движение шарика вокруг своего центра не учитывается), находим:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh, \text{ или } \frac{v^2}{2} = gh.$$

Сила, сообщающая шарику центростремительное ускорение в верхней точке петли, есть сила тяжести, поэтому

$$mg = \frac{mv^2}{R},$$

откуда $v^2 = gR$.

Подставляя найденное значение в предыдущее равенство, получим:

$$\frac{gR}{2} = gh, \text{ или } h = \frac{R}{2}.$$

Отмерив демонстрационным метром найденную высоту на желобе, пускают шарик и наблюдают его движение по петле. При пуске с меньшей высоты шарик падает, не достигнув верхней точки.

2. Специальный шкив с надетой на него замкнутой в кольцо цепочкой закрепляют на валу универсального электродвигателя (рис. 1-59). При максимальном числе оборотов двигателя цепочку с помощью картонной полоски сбрасывают со шкива. Она катится по столу, подпрыгивая и преодолевая препятствия, как жесткое и упругое кольцо.

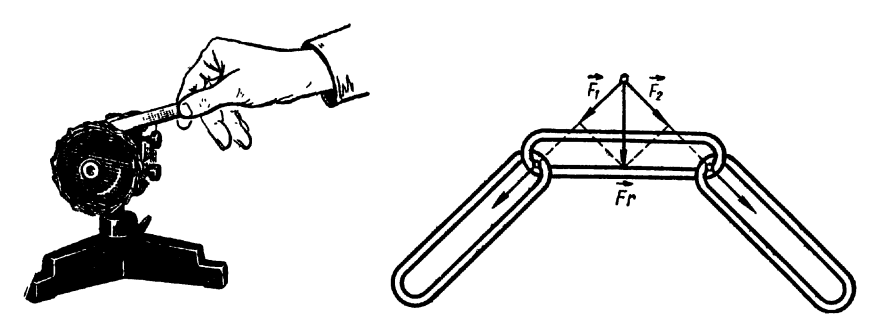


Рис. 1-59. Сбрасывание цепочки с вращающегося диска.

Рис. 1-60.

Учащимся предлагают объяснить происхождение силы, действующей на каждое из звеньев цепочки и сообщающей ему центростремительное ускорение. В начале движения каждое звено цепочки движется по инерции прямолинейно, пока цепочка не натянется. Каждое звено теперь удерживается на окружности силами упругости двух соседних звеньев (рис. 1-60). Равнодействующая этих сил и есть та сила, которая сообщает звену центростремительное ускорение.

34. КИНОФИЛЬМ «ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ»

Оборудование: 1) кинофильм «Принцип действия центробежных механизмов»[1], 2) кинопроектор.

Опыты по динамике вращательного движения следует завершить демонстрацией кинофильма «Принцип действия центробежных механизмов».

Фильм начинается с рассмотрения условий, при которых тело движется по окружности, выяснения появления силы, сообщающей телу центростремительное ускорение. Создавать его могут силы любой природы — демонстрируются случаи создания центростремительного ускорения силами трения покоя; рассматривается зависимость силы, создающей центростремительное ускорение, от расстояния до оси вращения, от угловой скорости, от массы тела.

Далее рассматриваются: центробежные регуляторы и их использование; центробежный тахометр; центрифуга с описанием процесса отделения твердых частиц от жидкости; сепаратор-центрифуга для получения сливок из молока; отжимная машина для сушки белья; центробежные насосы с объяснением процесса отсасывания, их использование в земснарядах, на водопроводных станциях для создания необходимого давления в водопроводной сети

[1] Принцип действия центробежных механизмов. 2 ч. Центральная студия научно-популярных и учебных кинофильмов, 1972. Продолжительность демонстрации — 20 мин.

городов, для перекачки нефти и растворов на химических предприятиях, для подачи молока на молокозаводах; центрифуга для тренировки космонавтов.

35. КИНОФИЛЬМЫ «ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ» И «УСПЕХИ СССР В ОСВОЕНИИ КОСМОСА»

Оборудование: 1) кинофильмы «Физические основы космических полетов»[1] и «Успехи СССР в освоении космоса»[2], 2) кинопроектор.

В связи с изучением вопроса о первой космической скорости программой предусмотрена демонстрация двух учебных кинофильмов «Физические основы космических полетов» и «Успехи СССР в освоении космоса».

В первом из этих фильмов рассказывается о первой и второй космических скоростях. Если направление скорости спутника будет параллельно касательной к земной поверхности, а начальная скорость будет равна первой космической скорости, спутник выйдет на круговую орбиту. Для сообщения спутнику такой скорости используются многоступенчатые ракеты. Даны числовые значения первой космической скорости в зависимости от высоты полета. Приведены условия для запуска спутника, неподвижного относительно Земли. На числовых примерах объяснена зависимость формы орбиты спутника от значения начальной скорости. Для второй космической скорости дано ее числовое значение вблизи поверхности Земли. В качестве примера использования второй космической скорости рассказано о запуске на Луну автоматических станций. В конце фильма показана ориентация корабля в полете, полет на Луну, возвращение на Землю.

Второй фильм смонтирован из фильмотечных материалов и решен в историческом плане, начиная с работ К. Э. Циолковского, который разработал и научно обосновал принцип реактивного движения, и с запуска первых космических ракет «09» и «ГИРД—Х» в 1933 г. Фильм заканчивается полетом космонавтов Г. Добровольского, В. Волкова и В. Пацаева.

В фильме подчеркнуты большие заслуги плеяды талантливых советских ученых и конструкторов — С. П. Королева, М. П. Янгеля, Г. Н. Бабакина, А. М. Исаева и др. — в деле разработки современных ракет и самых разнообразных космических систем.

В кинофильме широко использованы документальные материалы, телекадры, фонозаписи, показаны уникальные снимки Земли из космоса.

---

[1] Физические основы космических полетов. 1 ч. «Моснаучфильм», 1966. Продолжительность демонстрации — 9 мин.

[2] Успехи СССР в освоении космоса. 3 ч. «Школфильм», 1972. Продолжительность демонстрации — 30 мин.

§ 7. ЭЛЕМЕНТЫ СТАТИКИ

ОПЫТ 36. ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛА ПАРАЛЛЕЛОГРАММА СИЛ

Оборудование: 1) динамометры с круглым циферблатом, 2) метр демонстрационный, 3) груз наборный массой 1 кг, 4) штатив универсальный, 5) пластины клинообразные с разными углами — 2 шт.

Выведенное на предыдущих опытах правило параллелограмма сил (см. опыты 15 и 16) конкретизируют и закрепляют многочисленными примерами и решением задач, в том числе экспериментальных. К последним относятся описанные ниже опыты.

1. Установка, изображенная на рисунке 1-61, моделирует случай из строительной практики: груз, поднятый краном на высоту стены строящегося здания, подтягивается строителями к стене горизонтальным тросом. Перед учащимися ставят задачу: известен вес груза — 8 Н; вычислить, применяя правило параллелограмма, силы упругости шнуров (тросов) и проверить результаты непосредственным измерением этих сил.

Чтобы получить данные, необходимые для вычислений, решают задачу графически: начертив вектор силы тяжести подвешенного груза, проводят прямые, вдоль которых направлены силы упругости шнура, действующие на груз. Считая силу тяжести груза уравновешивающей, чертят равный и противоположно направленный вектор равнодействующей. Построением получают векторы искомых составляющих.

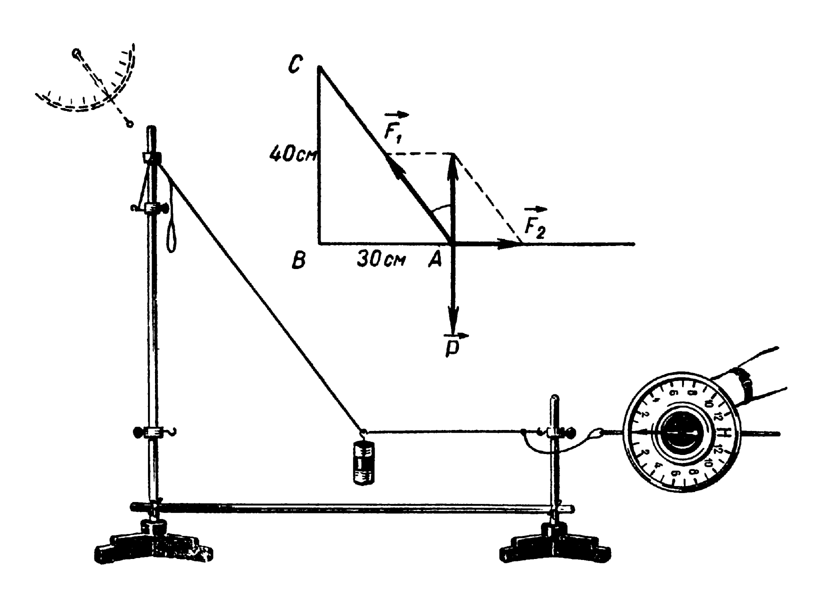


Рис. 1-61. Измерение сил натяжения нитей.

Измеряют демонстрационным метром расстояние от точки подвеса до штатива $AB = 30$ см и высоту подвеса $BC = 40$ см. Из подобия треугольников, образованных элементами конструкции и векторами сил, находят:

$$\frac{|\vec{F}_2|}{|\vec{P}|} = \frac{AB}{BC}; \quad \vec{F}_2 = \frac{|\vec{P}|\,AB}{BC} = \frac{8\text{Н} \cdot 0{,}3\text{м}}{0{,}4\text{ м}} = 6\text{Н};$$

$$|\vec{F}_1| = \sqrt{|\vec{P}|^2 + |\vec{F}_2|^2} = \sqrt{8^2\text{Н}^2 + 6^2\text{Н}^2} = 10\,\text{Н}.$$

Полученные числовые результаты проверяют измерением. Зацепляют крючком динамометра петлю на шнуре и натягивают шнур, пока не ослабнет петля на крючке штатива. При этом вся сила упругости шнура будет перенесена с крючка штатива на крючок динамометра, который и покажет числовое значение этой силы. Затем так же измеряют силу упругости второго шнура.

В демонстрационном эксперименте вычислительные операции не должны занимать много времени, поэтому величина груза и размеры элементов установки должны быть определены и подготовлены заранее. Размеры установки легко регулируются перемещением левого штатива в горизонтальном направлении и движением муфты с крючком вдоль стержня этого же штатива.

2. Установку для решения второй экспериментальной задачи собирают по рисунку 1-62. В желобки блоков входит плоский клин с проволочной петелькой для подвешивания груза. Из наборного груза на 1 кг в этом опыте можно использовать, например, 300 г ($\approx$ 3 Н).

Из построения, выполненного на классной доске, можно видеть, что сила давления клина на блок больше веса груза во столько раз, во сколько длина щеки клина больше ширины обуха. В данном случае, если $\frac{BC}{AB} = 2$, то эта сила будет равна 6 Н, что и покажет каждый из динамометров.

Опыт полезно провести с двумя клиньями, у которых указанное

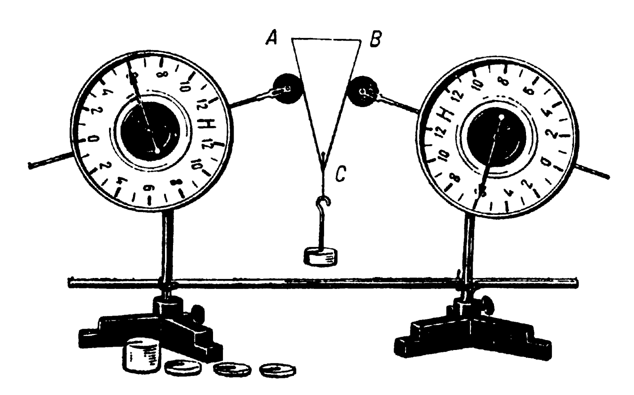


Рис. 1-62 Установка для измерения сил, развиваемых с помощью клина.

отношение выражено небольшими целыми числами, например 2 и 3. Клинья лучше всего вырезать из гетинакса, слоистого пластика, алюминия или тонкой фанеры.

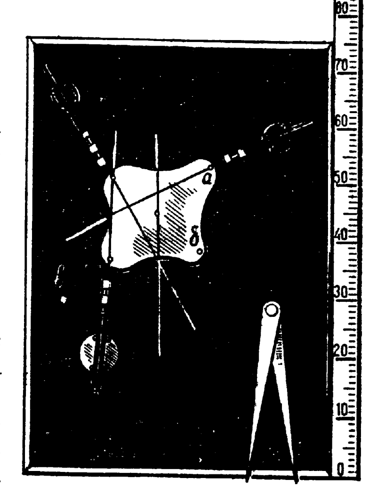


Рис. 1-63. Установка для иллюстрации правила моментов.

ОПЫТ 37. ПРАВИЛО МОМЕНТОВ

Оборудование: 1) набор по статике, 2) метр демонстрационный, 3) циркуль-измеритель демонстрационный.

В отличие от традиционной постановки опыта, когда испытуемое тело имеет явно выраженную ось вращения и ему к тому же придается форма диска, в описываемом опыте все точки равноправны и любая из них может служить началом отсчета плеч, а само тело имеет произвольную неправильную форму. При такой постановке опыта правило моментов приобретает более общий характер.

На рисунке 1-63 изображена демонстрационная установка, подготовленная для проведения опыта. В ней пластина неправильной формы удерживается на трех динамометрах, установленных на магнитных держателях. Показания динамометров выражены целыми числами. Для удобства отсчета плеч через точки приложения сил проведены мелом прямые, вдоль которых действуют силы (в том числе и сила тяжести пластины).

Разумеется, что установку надо собрать заранее и подготовить так, чтобы в полученных суммах моментов, направленных по часовой стрелке и против нее, значащие цифры были одинаковы. Собирая установку, надо скорректировать каждый динамометр приблизительно в том положении, в котором он будет действовать. После того как установка будет отрегулирована, все построения и записи на щите и пластине стирают влажной тряпкой. Пластину снимают, стараясь не сдвинуть держатели динамометров с места.

Приступая к демонстрации опыта, определяют вес пластины. Для этого ее подвешивают к крючку того динамометра, который скорректирован для такого положения.

Затем устанавливают на свободном месте щита держатель со штифтом и насаживают на штифт пластину отверстием, пробитым в центре тяжести. Повертывая пластину в различные положения, показывают, что отверстие в пластине совпадает с центром тяжести.

Далее, не сдвигая держателя динамометров, прицепляют пластину к крючкам динамометров, как было заранее подготовлено. Пластина повисает на трех динамометрах и оказывается под действием четырех взаимно уравновешенных сил (четвертая — сила

тяжести). Тонко заостренным куском мела проводят на пластине прямые, вдоль которых действуют силы, и с помощью демонстрационного циркуля-измерителя и демонстрационного метра измеряют длины плеч относительно произвольно выбранной точки *б*. Подсчитав суммы моментов, направленных по и против часовой стрелки, убеждаются в их равенстве.

Измерения и подсчет повторяют для любой другой точки, например для точки *а*, где приложена одна из сил, и для точки *в*, взятой вне пластины.

ОПЫТ 38. ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛА МОМЕНТОВ

Оборудование: 1) метр демонстрационный, 2) динамометр с круглым циферблатом, 3) груз наборный массой 1 кг, 4) штатив универсальный, 5) нить толстая белая.

Описанные ниже опыты целесообразно провести в форме экспериментальных задач.

1. С помощью динамометра определяют вес стержня от универсального штатива (приблизительно 8 Н), затем два одинаковых стержня свинчивают вместе и кладут на стол. Задача состоит в том, чтобы, применив правило моментов, определить силу, которую надо приложить к правому концу стержня, чтобы приподнять его над столом (рис. 1-64).

При решении задачи сначала выявляют все силы, действующие на стержень: силу тяжести, реакцию опоры и искомую силу $\vec{F}$, приложенную к концу стержня. Из этих сил две неизвестны. Чтобы исключить из уравнения одно неизвестное, определяют моменты сил относительно левого конца стержня (точка приложения силы реакции опоры) и записывают:

$$16\text{H} \cdot l = \vec{F} \cdot 2l,$$

откуда $\vec{F} = 8$ Н.

Результат проверяют экспериментально, приподняв конец стержня с помощью динамометра. При этом динамометр показывает 8 Н.

Во втором варианте задачи стержень кладут так, чтобы $^1/_4$ или $^1/_3$ его свешивалась над полом. Решение и проверка такие же, как в предыдущем варианте.

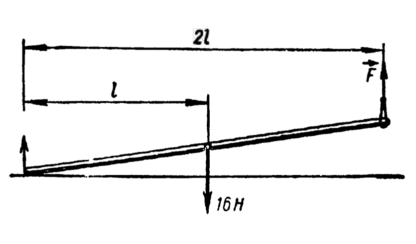


Рис. 1-64.

2. Длинный стержень от универсального штатива свинчивают с коротким[1]. На конец короткого стержня навешивают с помощью колечка с крючком наборный груз. Величину груза

[1] Для этого в торце короткого стержня надо просверлить отверстие и нарезать резьбу.

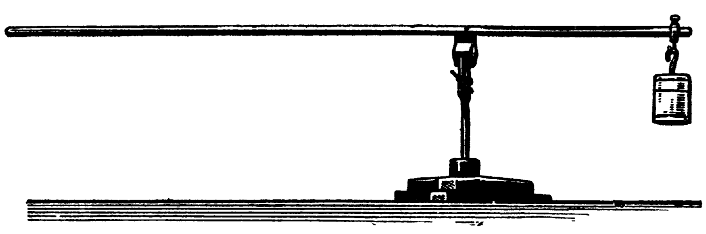


Рис. 1-65.

подбирают так, чтобы стержень, уложенный на слегка разведенные лапки штатива, сохранял равновесие (рис. 1-65).

Требуется выяснить, одинаков ли вес левого длинного и правого короткого стержней с грузом. Считая по условию равновесия, что моменты сил тяжести левой и правой частей равны между собой, а левое плечо намного больше правого, находят, что правая часть должна быть тяжелее левой. Сделанный вывод подтверждают взвешиванием, для чего стержни развинчивают и с помощью динамометра взвешивают поочередно обе части.

3. На рисунке 1-66 изображена простейшая модель подъемного крана, собранная из деталей универсального штатива. Для получения шарнирного соединения подкоса с вертикальным стержнем, которое позволяло бы ему поворачиваться только в вертикальной плоскости, применяют две поперечные муфты и короткий стержень. Посредством одной муфты короткий стержень в горизонтальном положении жестко скрепляют с вертикальным стержнем, а подкос с помощью закрепленной на нем муфты свободно насаживают на выступающий конец короткого стержня. Винт этой муфты надо подтянуть так, чтобы он обеспечивал свободное вращение подкоса, но не допускал боковой качки.

Задача состоит в определении силы натяжения горизонтальной оттяжки. Перед сборкой модели динамометром взвешивают подкос вместе с насаженными на нем муфтами и определяют его центр тяжести. Плечи сил относительно оси вращения подкоса измеряют демонстрационным метром.

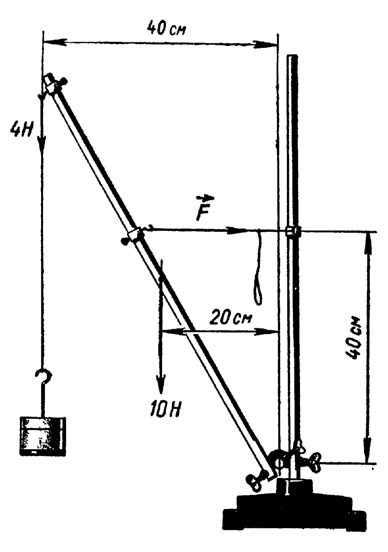


Рис. 1-66.

Согласно данным, указанным на рисунке 1-66, будем иметь:

$$|\vec{F}| \cdot 0{,}4\,\text{м} = 4\text{Н} \cdot 0{,}4\,\text{м} + 10\text{Н} \cdot 0{,}2\,\text{м}, \text{ или } |\vec{F}| = 9\,\text{Н}.$$

Вычислив по правилу моментов искомую силу, прицепляют

динамометр к висящей на оттяжке петле и подтягивают им оттяжку, пока нить на крючке штатива не ослабнет. Показание динамометра сравнивают с полученным числом.

ОПЫТ 39. РАВНОВЕСИЕ ТЕЛ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Оборудование: 1) линейка с отверстиями, 2) цилиндрическая банка, 3) пластина гибкая, 4) электролампа в патроне на подставке, 5) призма наклоняющаяся, 6) штатив универсальный, 7) модель подвижной системы электроизмерительного прибора.

Различные виды равновесия тел под действием силы тяжести сначала демонстрируют на линейке, имеющей отверстия на конце и в центре тяжести. Подвесив линейку за крайнее отверстие к стержню, закрепленному в муфте штатива, показывают ее устойчивое равновесие. Затем линейку поворачивают вверх и демонстрируют положение неустойчивого равновесия. Насадив линейку на стержень отверстием, совпадающим с центром тяжести, и располагая ее в различных положениях, показывают безразличное равновесие.

Все три вида равновесия следует далее показать с шаром, расположенным на горизонтальной плоскости, а затем на сферических поверхностях, или с цилиндром, расположенным на цилиндрических поверхностях.

Рассмотренные конкретные примеры дают возможность выявить основной признак, позволяющий относить равновесие к тому или иному виду: увеличение, уменьшение или сохранение высоты центра тяжести при повертывании тела вокруг оси или точки опоры.

В дополнение к показанному полезно предложить учащимся рассмотреть равновесие линейки, лежащей на баллоне электролампы (рис. 1-67), и выяснить условие, при котором такой случай устойчивого равновесия возможен. Исходя из выведенного общего условия, учащиеся должны прийти к выводу, что равновесие будет устойчивым, если толщина линейки достаточно мала по сравнению с диаметром баллона.

Для выяснения условия устойчивости тела, имеющего площадь опоры, применяют прибор «Призма наклоняющаяся». С помощью

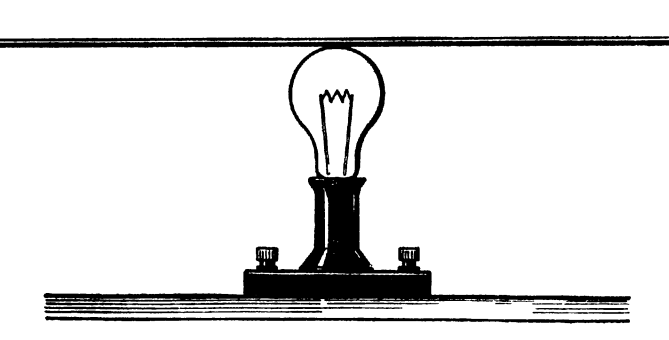


Рис. 1-67. Равновесие линейки.

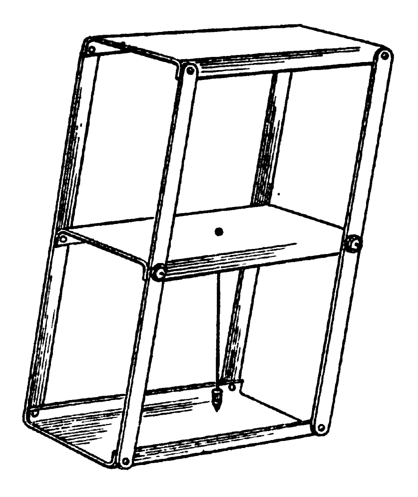



Рис. 1-68. Призма наклоняющаяся.

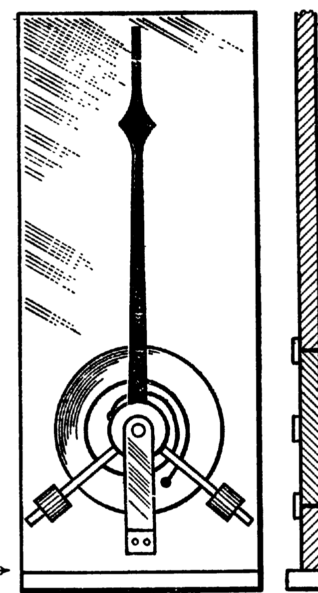
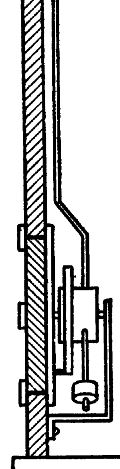



Рис. 1-69. Модель подвижной системы → электроизмерительного прибора.

двух имеющихся на ней зажимов шарниры призмы закрепляют так, чтобы призму можно было наклонять и чтобы она при этом сохраняла приданную ей форму. Постепенно наклоняя призму (рис. 1-68), показывают, что она сохраняет устойчивость, пока вертикаль, проходящая через центр тяжести призмы, не выйдет за пределы контура опоры, после чего призма опрокидывается.

Не ограничиваясь демонстрацией этого прибора, полезно показать опрокидывание прямоугольного бруска, поставленного поочередно на каждую из его граней. Тем самым определяют степень устойчивости, зависящую от высоты центра тяжести и площади опоры. Далее следует обратить внимание на особенности конструкции универсального штатива, важнейшим требованием к которому является его большая устойчивость.

Полезна экспериментальная задача с самодельной моделью подвижной системы электроизмерительного прибора (рис. 1-69). В подобных приборах регулировку обычно производят так, чтобы при отсутствии тока стрелка устанавливалась на нулевом делении при любых положениях прибора. Для этого служат спиральная пружина и два противовеса. С помощью последних центр тяжести системы совмещают с ее осью, а стрелку подводят к нулевому делению поворотом места крепления наружного конца пружины.

Практически задача решается следующим образом:

1. Полностью разрегулированный прибор располагают так, чтобы ось его была вертикальна, а стрелка и противовесы оказались в горизонтальной плоскости. При таком положении повертыва-

ют диск с закрепленным на нем наружным концом пружины, пока конец стрелки не станет против указателя.

2. Устанавливают прибор вертикально и наклоняют его в сторону так, чтобы один из противовесов был направлен вертикально вниз. Перемещают груз второго противовеса, пока при вертикальном положении первого противовеса стрелка не расположится вновь против указателя.

3. Наклоняют прибор в другую сторону и при вертикальном положении второго противовеса перемещением груза первого противовеса добиваются возвращения стрелки к указателю.

Выполнив указанные три операции, прибор повертывают всеми возможными способами, причем положение его стрелки относительно указателя не изменяется. Теперь центр тяжести системы совпадает с осью прибора, а пружина находится в ненапряженном состоянии.

§ 8. ИМПУЛЬС ТЕЛА. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

ОПЫТ 40. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Оборудование: прибор по кинематике и динамике.

Сохранение импульса тел при их взаимодействии удобно демонстрировать при помощи двух тележек на приборе по кинематике и динамике. Тележки без добавочных грузов и ворота должны иметь одинаковую массу. Поскольку массы тележек одинаковы, об импульсе каждой из них можно судить по их скоростям, которые нет необходимости измерять, а достаточно оценить на глаз.

1. Тележки устанавливают на рельсах так, чтобы они были обращены друг к другу свободными торцами. К торцу одной из тележек прикрепляют скатанный из пластилина шарик (диаметром 2—3 см) и разводят тележки к упорам (рис. 1-70). Двумя руками одновременно и приблизительно с одинаковой силой толкают их навстречу друг другу. Сталкиваясь, тележки останавливаются. Перед взаимодействием импульсы тележек равны и направлены противоположно, — следовательно, их векторная сумма равна нулю. После взаимодействия общий импульс тележек, как следует из опыта, также остается равным нулю.

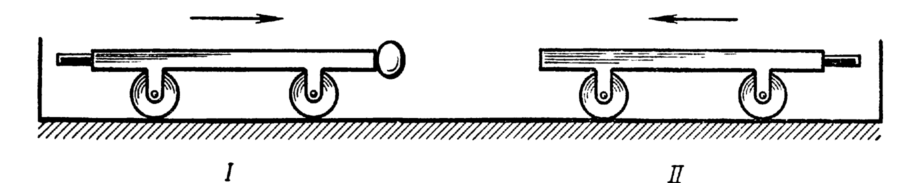


Рис. 1-70. Демонстрация закона сохранения импульса.

Если толчки, полученные тележками, неодинаковы, то после столкновения сцепленные тележки медленно двигаются в ту сторону, куда двигалась тележка, пущенная с большей скоростью. В этом случае суммарный импульс тележек перед взаимодействием будет равен их общему импульсу после взаимодействия. Приняв направление движения первой тележки за положительное, получим для проекций импульсов:

$$mv_1 - mv_2 = 2mv,$$

откуда

$$v = \frac{v_1 - v_2}{2},$$

т. е. скорость сцепленных тележек равна половине разности скоростей тележек до столкновения и направлена в сторону большей скорости.

2. Одну из тележек отводят к упору, а другую ставят от первой на расстоянии, приблизительно равном $\frac{2}{3}$ длины рельсов. Получив толчок, первая тележка катится и наталкивается на неподвижную тележку. Сцепившись, обе тележки катятся со скоростью, которая приблизительно в два раза меньше скорости первой тележки. И в этом случае общие импульсы тележек до и после столкновения равны между собой:

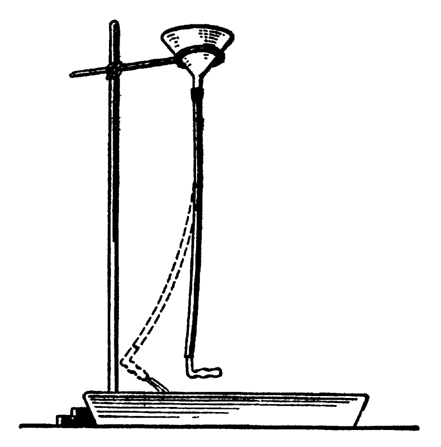
$$mv = 2m\frac{v}{2}.$$

3. Пластилиновый шарик удаляют, тележку с пружиной ставят пружиной вперед и толкают тележки навстречу друг другу с одинаковыми скоростями, как в первом опыте. После столкновения тележки двигаются обратно с теми же скоростями. В этом случае общий импульс тележек до и после столкновения равен нулю. Если тележки получили неодинаковые толчки, то их общий импульс равен разности импульсов тележек и направлен в сторону большей скорости. После столкновения тележки обмениваются скоростями и разность их импульсов остается прежней и по величине, и по направлению.

4. Одну тележку отводят к упору, а другую ставят на середину. Толкают первую тележку. Натолкнувшись на неподвижную, она останавливается, передав полностью свой импульс второй тележке.

5. Одну из тележек нагружают добавочными грузами, чтобы ее масса увеличилась вдвое, и повторяют любой из описанных выше опытов. Перед демонстрацией учащимся предлагают на основе установленного закона заранее указать поведение тележек после их взаимодействия.

ОПЫТ 41. РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ


Рис. 1-71. Отклонение резиновой трубки при вытекании воды.

Оборудование: 1) воронка стеклянная, 2) трубка резиновая, 3) наконечник стеклянный Г-образный, 4) штатив универсальный, 5) кювета фотографическая, 6) тележка реактивного действия, 7) насос Комовского или ручной нагнетательный насос.

1. Стеклянную воронку с резиновой трубкой и Г-образным наконечником вставляют в кольцо штатива и подставляют под наконечник кювету (рис. 1-71).

Наливая в воронку воду, обращают внимание учащихся на отклонение трубки в сторону, противоположную направлению вытекания воды.

Если позволяют условия, то лучше вместо воронки присоединить резиновую трубку к водопроводному крану. Это даст возможность изменять скорость потока воды, от чего будет изменяться и угол отклонения трубки.

2. Далее демонстрируют реактивное движение с помощью специальной тележки, изображенной на рисунке 1-72. Этот прибор представляет собой прочный цилиндрический баллон *1*, установленный горизонтально на трех колесах. В плоском дне цилиндра имеется штуцер *2* с ниппелем для накачивания воздуха и сопло *3* для выхода воздуха, закрываемое резиновой пробкой *4*. Последняя насажена на откидной рычаг *5*, шарнирно укрепленный на стойке *6*.

Перед демонстрацией опыта повертывают рычаг так, чтобы пробка плотно закрыла сопло. Конец рычага привязывают ниткой к крючку *7*. Резиновым толстостенным шлангом ссединяют штуцер с нагнетающим патрубком насоса Комовского. Сделав 50—60 оборотов маховика насоса, отсоединяют шланг от тележки.

Подготовленную к проведению опыта тележку ставят в конце демонстрационного стола, направляют ее вдоль стола и пережигают нить. Воздух, вырываясь из сопла, толкает тележку в противоположном направлении, и она пробегает 1,5—2 м. На другом конце стола следует положить какое-либо препятствие для гашения удара тележки.

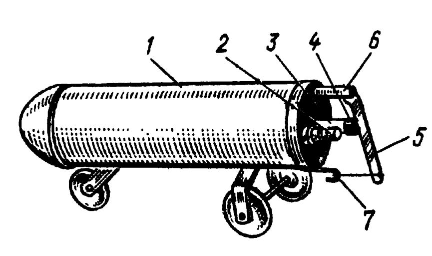


Рис. 1-72. Тележка реактивная.

Вместо описанного выше прибора с успехом можно применить самодельный прибор. Это простая легкая тележка, или игрушечный автомобиль, на котором укрепляют надувной рези-

новый шарик с пластмассовым или стеклянным наконечником (рис. 1-73). Перед опытом шарик надувают ртом и закрывают сопло резиновым кружком на нитке. При пережигании нитки сопло открывается и тележка приходит в движение.

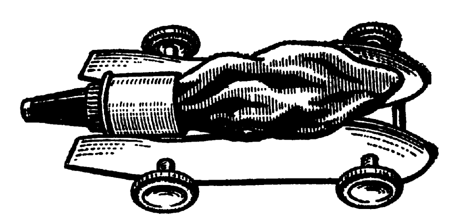


Рис. 1-73. Тележка реактивная самодельная.

ОПЫТ 42. ПОЛЕТ РАКЕТЫ

Оборудование: 1) модель ракеты с пусковым приспособлением и воронкой, 2) насос воздушный ручной.

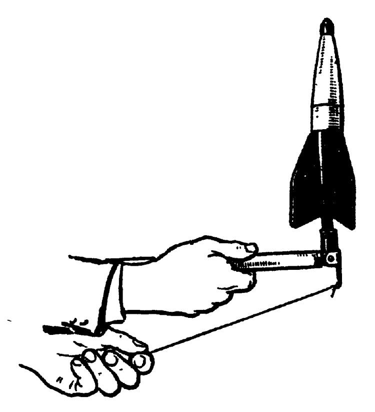


Рис. 1-74. Положение ракеты перед пуском.

Перед запуском в ракету через воронку наливают около 60 мл воды (до выпуклого кольца, имеющегося в головной части корпуса; уровень воды виден через полупрозрачную стенку прибора, если смотреть на просвет). Затем в отверстие ракеты вставляют трубку пускателя. Прижимают корпус ракеты к пускателю и скрепляют их между собой спусковой скобой. Соединяют насос с пускателем, повертывают ракету головной частью вверх и, придерживая спусковую скобу, накачивают в корпус ракеты воздух до такого давления, когда будет заметно ощущаться сопротивление движению поршня насоса. Обычно бывает достаточно сделать около 20 взмахов поршнем насоса.

После накачивания воздуха удерживают насос с пускателем так, чтобы корпус ракеты был в вертикальном положении (рис. 1-74), и тянут за шнурок пусковой скобы. Ракета с большой скоростью устремляется вверх и, поднявшись на 35—40 м, падает. Благодаря стабилизатору ракета при падении поворачивается головной частью вниз и ударяется о землю резиновым амортизатором.

Пускать ракету можно только на открытом месте, вдали от зданий, чтобы было удобно следить за ее полетом и местом падения. Если почему-либо пуск ракеты на открытом месте невозможен, надо показать реактивное движение ракеты под действием сжатого воздуха, выбрасываемого из ее сопла. В этом случае поступают, как было описано выше, но воду в прибор не наливают. Ракета поднимается над демонстрационным столом на высоту 1—1,5 м.

§ 9. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

ОПЫТ 43. ПЕРЕХОД ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В КИНЕТИЧЕСКУЮ И ОБРАТНО

Оборудование: 1) гиря массой 1 кг, 2) пружина от ведерка Архимеда, 3) грузик массой 50 или 100 г с крючком, 4) шарик стальной от шарикоподшипника, 5) трубка стеклянная 50—70 см, 6) наковальня, 7) штатив универсальный, 8) нить, 9) дощечка деревянная, 10) гвоздь длиной 3—4 см, 11) пластилин.

Явление перехода потенциальной энергии в кинетическую и обратно достаточно показать на следующих четырех простых опытах:

1. Гирю 1 кг подвешивают на пружине к штативу и приводят в колебательное движение в вертикальном направлении. Предоставляют учащимся в течение некоторого времени наблюдать за медленными колебаниями груза (рис. 1-75). Затем останавливают груз и, взяв его в руку, приводят то в среднее, то в верхнее, то в нижнее положение. Одновременно указывают силы, действующие на груз в каждом из этих положений, скорости его движения, а также взаимные превращения кинетической и потенциальной энергии груза и пружины.

В этом опыте затухание колебаний очень невелико. Поэтому на нем не следует пока останавливать внимание учащихся. Колебания гири надо прекращать раньше, чем станет заметным уменьшение амплитуды.

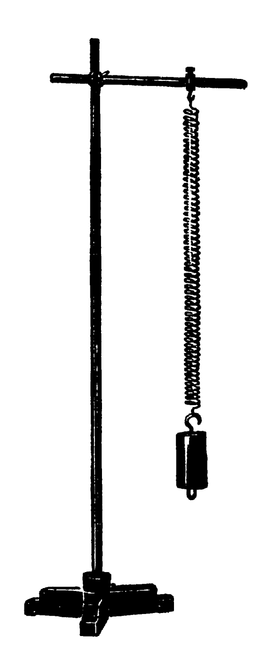


Рис. 1-75. Пружинный маятник.

2. Грузик, подвешенный на нити к раме классной доски, отклоняют на угол около 45° и наблюдают его колебания в плоскости, параллельной плоскости доски. Затем отмечают на доске мелом нижнее и верхнее положения грузика и через эти метки проводят горизонтальные прямые.

Далее отклоняют грузик до отмеченного верхнего уровня и пускают его. Грузик, пройдя через нижнее положение, вновь достигает прежнего уровня.

Опыт повторяют, но в плоскости качаний маятника устанавливают задержку (к доске приставляют карандаш или иной стержень). Показывают, что в этом случае нить огибает задержку, но грузик поднимается на прежнюю высоту.

3. Опыт, иллюстрирующий переход потенциальной энергии поднятых грузов в кинетическую энергию движущейся тележки и обратно, можно показать на тележке с воротом (см. опыт 17).

4. На стальной, хорошо закаленной наковальне устанавливают стеклянную трубку длиной около 70 см, пропустив ее через лапку штатива (рис. 1-76). В трубку опускают стальной шарик от шарикоподшипника (внизу трубку надо придерживать рукой). Упав на наковальню, шарик подпрыгивает и после нескольких подскоков останавливается. На этом опыте показывают превращение потенциальной энергии шарика в кинетическую, а затем во внутреннюю энергию стали, при этом происходит постепенное рассеяние энергии (затухание колебаний).

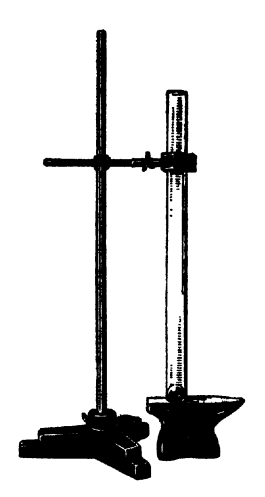


Рис. 1-76. Установка для демонстрации превращения потенциальной энергии стального шарика в другие виды энергии.

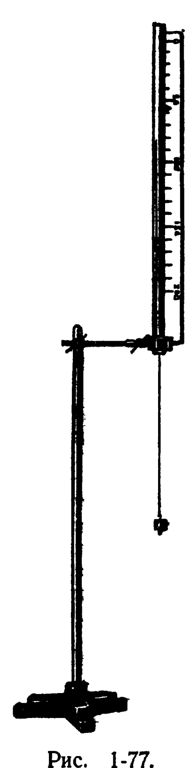
Чтобы сконцентрировать внимание на последнем явлении, на наковальню кладут кусок картона и повторяют опыт. Шарик при падении подпрыгивает на значительно меньшую высоту. Затем на наковальню кладут дощечку из мягкого дерева (липа, осина, ель), в которую предварительно неглубоко вбивают небольшой гвоздь. Брошенный в трубку шарик ударяет в шляпку гвоздя и вбивает его дальше в дерево. При этом никакого подскока не наблюдается — шарик останавливается сразу. В этом случае работа, произведенная шариком против силы трения, сопровождается полным превращением кинетической энергии шарика во внутреннюю энергию. Гвоздь можно заменить плиткой из пластилина и повторить опыт. Шарик также сразу останавливается, иллюстрируя превращение кинетической энергии во внутреннюю энергию пластилина. Чтобы шарик не прилипал к пластилину, на последний кладут листок бумаги.

ОПЫТ 44. ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГИИ ТЕЛА РАВНО СОВЕРШЕННОЙ РАБОТЕ

Оборудование: 1) динамометр пружинный от прибора по кинематике и динамике, 2) груз массой 50 г, 3) метр демонстрационный, 4) штатив универсальный.

Рассматривая работу как процесс превращения энергии, полезно показать, что количество превращенной энергии равно величине работы, совершенной при этом превращении. Опыт надо поставить так, чтобы необратимые потери энергии, не поддающиеся учету, были как можно меньше и не оказывали заметного влияния на результаты. Этим требованиям вполне соответствует установка, изображенная на рисунке 1-77. Она состоит из динамометра, зажатого вертикально в лапке штатива, и подвешенного к его нити грузика массой 50 г. Опыт проводят в такой последовательности.

Грузик, висящий на нити, поднимают вплотную к втулке ди-


Рис. 1-77.

намометра и отпускают. При своем падении он растягивает пружину динамометра. Чтобы достаточно точно определить максимальную величину силы, растягивающей пружину, опыт повторяют несколько раз, фиксируя внимание на том месте шкалы, где на одно мгновение останавливается указатель. Пусть эта сила оказалась равной 1,4 Н.

Далее с помощью демонстрационного метра измеряют расстояние, пройденное указателем. По полученным данным определяют работу растяжения пружины:

$$A = \frac{1{,}4\text{Н}}{2} \cdot 0{,}38\,\text{м} = 0{,}266\,\text{Дж} \approx 0{,}27\,\text{Дж}.$$

Затем оттягивают грузик вниз, пока динамометр не покажет 1,4 Н, и измеряют высоту, с которой падал груз, т. е. расстояние от верхнего крючка груза до втулки динамометра. Если это расстояние равно 54 см, то легко подсчитать уменьшение потенциальной энергии груза:

$$E_\text{п} = 0{,}5\text{Н} \cdot 0{,}54\,\text{м} = 0{,}27\,\text{Дж}.$$

Таким образом, при превращении потенциальной энергии поднятого груза в энергию растянутой пружины работа по растяжению пружины равна количеству превращенной энергии: $A = E_\text{п}$.

ОПЫТ 45. УПРУГИЙ И НЕУПРУГИЙ УДАРЫ

Оборудование: 1) прибор по кинематике и динамике, 2) кинофильм «Механический удар»[1], 3) кинопроектор.

Демонстрация механического удара двух тележек описана в опыте 40 (с. 80). Проведение этого опыта было связано с изучением закона сохранения импульса. При изучении раздела «Работа и энергия» эти опыты следует повторить и рассмотреть наблюдаемые явления с точки зрения закона сохранения энергии.

Сначала показывают упругие столкновения двух тележек в разных вариантах (варьируется масса, величина и направление скоростей). В этих опытах суммарный импульс до и после взаимодействия тележек остается без изменения. Очевидно, что при упругом столкновении и общая кинетическая энергия тележек к концу взаимодействия остается прежней. Иначе обстоит дело при неупругом ударе. Например, при неупругом ударе движущейся тележки о неподвижную суммарный импульс двух тележек до и после

[1] Механический удар. 1 ч. «Центрнаучфильм», 1971. Продолжительность демонстрации — 9 мин.

взаимодействия остается без изменения. В проекциях на горизонтальную ось уравнение будет иметь вид:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v.$$

Но $v_1 > v$, поэтому

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} > \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2}.$$

В этом случае некоторая часть энергии

$$\Delta E = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2}$$

пошла на увеличение внутренней энергии пластилина при его деформации.

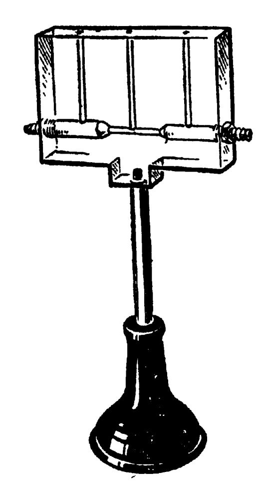
Далее увеличивают массу неподвижной тележки приблизительно вдвое и повторяют опыт, толкнув другую тележку с прежней скоростью. Теперь тележки после удара двигаются с меньшей скоростью, чем в первом опыте. На основании этого опыта, а также из теоретических соображений делают весьма важный вывод: при увеличении массы неподвижного тела или уменьшении массы ударяющего тела часть кинетической энергии, превращаемая в другие виды энергии, увеличивается.

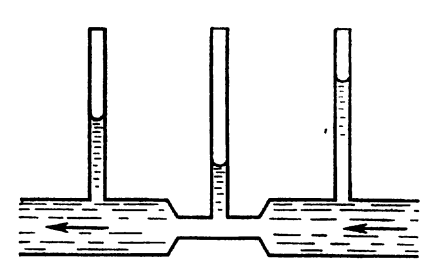
Полезным дополнением к этим опытам может служить демонстрация кинофильма «Механический удар». В этом фильме методами скоростной и сверхскоростной съемки показаны и разъяснены различные фазы упругого и неупругого соударения шаров с одинаковыми и разными массами, для различных случаев их сближения.

ОПЫТ 46. ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ ОТ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

Оборудование: 1) прибор с каналом разного сечения, 2) проекционный аппарат, 3) склянка емкостью 2 л с тубусом внизу, 4) резиновые трубки: одна 50 см с пробкой для присоединения к тубусу и винтовым зажимом, другая (30 см) сливная, с краном и выходным патрубком на конце, 5) кювета для стока воды.

Прибор для демонстрации давления жидкости, текущей по трубе разного сечения, предназначен для проецирования. Он изготовлен из пластинки органического стекла размером 80 × 60 × 20 мм, внутри которой просверлен горизонтальный канал, имеющий в середине сужение (рис. 1-78). К каналу на равных расстояниях друг от друга подходят три манометрические вертикальные трубки диаметром 3 мм, причем одна из них соединена с его узкой частью. Горизонтальный канал с обеих сторон оканчивается ниппелями для подачи и стока воды. Прибор укреплен на металлическом стержне и может устанавливаться в рейтере проекционного аппарата или на подставке во время хранения.


Рис. 1-78. Прибор для демонстрации давления жидкости, текущей по трубе разного сечения.


Рис. 1-79. Распределение давления в потоке.

1. Для проведения демонстраций прибор помещают перед конденсором проекционного аппарата и объективом с оборотной призмой (или плоским зеркалом), на экране получают прямое изображение.

К ниппелю для подачи воды присоединяют резиновую трубку от сосуда с водой, который располагают на подъемном столике (вблизи проекционного аппарата). К другому ниппелю присоединяют сливную трубку со стеклянным наконечником и краном (длина наконечника — 40—50 мм, внутренний диаметр — 3,5—4 мм) и направляют ее в кювету. Этим и заканчивается подготовка установки.

Медленно открывают винтовой зажим на трубке от склянки с водой и на экране наблюдают, как при некотором установившемся потоке уровни жидкости в манометрических трубках займут определенное положение (рис. 1-79). Обращают внимание учащихся, что в узкой части канала, где скорость течения наибольшая, давление меньше, чем в широкой части, где скорость меньше. Давление в канале по направлению течения сначала уменьшается, а затем вновь увеличивается, но не достигает прежней величины из-за внутреннего трения.

Регулируя скорость потока на входе и выходе прибора, можно в узкой части канала получить давление меньше атмосферного. При этом через среднюю трубку будут засасываться пузырьки воздуха.

В успехе этого опыта (а также и других опытов по гидродинамике) особенно важное значение имеет величина выходного отверстия у сливной трубки. Поэтому надо один раз подобрать подходящий стеклянный наконечник и хранить его. Можно воспользоваться краном или винтовым зажимом на конце сливной трубки.

2. Демонстрацию опыта с потоком воздуха, проходящего по трубе разного сечения, проводят с тем же прибором. Его располагают также перед конденсором проекционного аппарата, но в перевернутом положении (манометрическими трубками вниз) и проецируют на экран. Опорный стержень ввертывают в заранее подго-

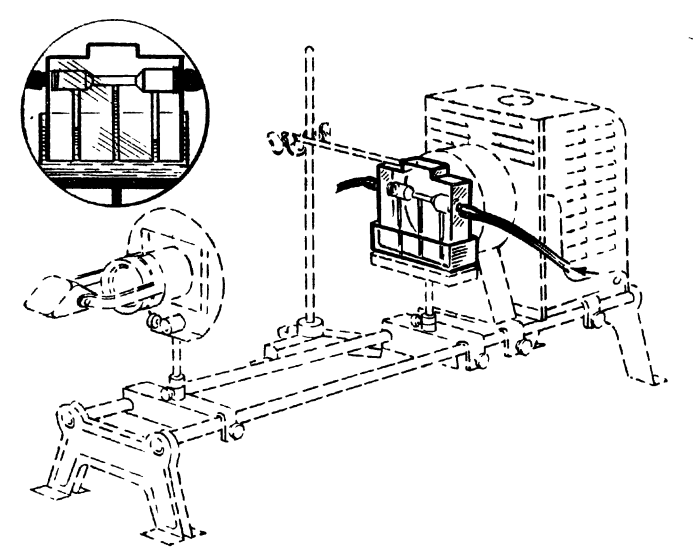


Рис. 1-80. Установка для демонстрации распределения давления в воздушном потоке разного сечения.

товленное сбоку прибора отверстие с нарезкой и зажимают в муфте штатива (рис. 1-80).

На столике, укрепленном в рейтере проекционного аппарата, устанавливают под прибором небольшую ванночку (85×25×35 мм) с прозрачными боковыми стенками. Наполняют ванночку водой так, чтобы манометрические трубки были погружены в нее не менее чем наполовину. На выходной ниппель надевают резиновый патрубок длиной 5—7 см, а на другой — трубку длиной 30—50 см. На этом заканчивается подготовка опыта.

Продувают через канал воздух ртом и на экране наблюдают, что в средней манометрической трубке уровень жидкости заметно поднимается, что свидетельствует об уменьшении давления в узкой части канала. В крайних же трубках уровни будут ниже, так как давление в широкой части канала больше.

При увеличении скорости воздушного потока можно наблюдать всасывающее действие струи воздуха: в средней манометрической трубке вода будет подниматься до канала и мелкими каплями вылетать из выходного ниппеля. В таком виде опыт явится некоторой подготовкой к демонстрации действия пульверизатора.

ОПЫТ 47. УСТРОЙСТВО И ДЕЙСТВИЕ ПУЛЬВЕРИЗАТОРА И ВОДОСТРУЙНОГО НАСОСА

Оборудование: 1) пульверизатор демонстрационный, 2) модель водоструйного насоса, 3) проекционный аппарат, 4) склянка с водой емкостью 2 л с тубусом внизу, 5) манометр открытый водяной, 6) цилиндр для демонстрации упругости газов, 7) подъемный столик, 8) штатив универсальный, 9) три резино-

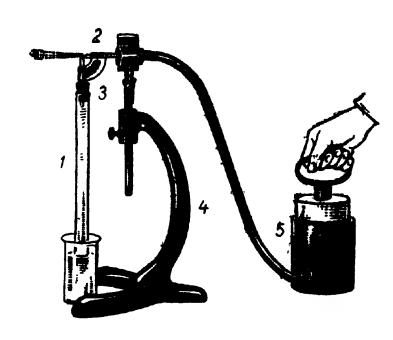


Рис. 1-81. Демонстрация действия пульверизатора.

вые трубки: две длиной по 40—50 см и одна 10—15 см с внутренним диаметром 4—5 мм, 10) стакан с подкрашенной водой, 11) кювета для стока воды, 12) резиновая груша от гигрометра, 13) папироса, 14) винтовой зажим.

Практическое применение всасывающего действия струи раскрывается в опытах с пульверизатором и водоструйным насосом.

1. Пульверизатор для демонстрационных целей собирают по рисунку 1-81. Прибор состоит из стеклянных трубок *1* и *2*, которые соединяются под прямым углом при помощи простого металлического держателя *3*. Широкая вертикальная трубка длиной 25 см и диаметром 15 мм имеет сверху стеклянный оттянутый наконечник, который плотно вставляется через резиновую пробку. Горизонтальная трубка длиной 12 см и диаметром 6 мм имеет сужающийся конец с внутренним диаметром 2 мм, трубка укрепляется в лапке штатива, и в таком виде прибор устанавливается в стойке *4* от подъемного столика. Закрепляя лапку штатива на разной высоте в стойке, можно больше или меньше погружать в воду вертикальную трубку, т. е. менять высоту поднимаемого столба жидкости.

Для продувания воздуха на свободный конец горизонтальной трубки надевают резиновую трубку, которую соединяют со штуцером цилиндра *5*, применяемого для демонстрации упругости газов. При движении поршня вниз возникает достаточно сильная струя воздуха, выбрасываемая из горизонтальной трубки. В результате над выступающим концом вертикальной трубки получается пониженное давление. Вода поднимается до самого верха (высота — 20—25 см), втягивается воздушной струей и распыляется на мелкие брызги. Так как объем цилиндра сравнительно небольшой и струя идет непродолжительное время, то опыт надо повторить несколько раз. Для более длительного действия прибора можно вместо цилиндра воспользоваться футбольной камерой, которую накачивают при помощи ручного насоса или насоса Комовского.

Воду в стакане следует подкрасить. Кроме того, желательно воспользоваться подсветом. Тогда разбрызгиваемая струя особенно хорошо будет выделяться на темном фоне классной доски.

Успешное проведение опыта с пульверизатором зависит от правильного взаимного расположения трубок в металлическом держателе, где они закрепляются не жестко, а с достаточным трением. Перед опытом надо обратить внимание, чтобы ось горизонтальной трубки была на уровне выступающего наконечника вертикальной трубки и расстояние между оттянутыми концами 1—2 мм. Продувая воздух просто ртом и немного изменяя расстояние между концами трубок, добиваются, чтобы при сравнительно неболь-

шой скорости потока вода в вертикальной трубке поднималась на возможно большую высоту.

2. Модель водоструйного насоса (рис. 1-82), предназначенная для учебных целей, выполнена из прозрачной пластинки органического стекла размером 50×50×10 мм и приспособлена для проецирования на экран. Внутри пластинки имеется круглая плоская камера, соединенная с тремя ниппелями. Входной ниппель *1* заканчивается в камере наконечником с узким отверстием. Против него вставлен выходной ниппель *2* с более широким каналом, а сбоку — ниппель *3* для отсоса. Прибор снабжен опорным стержнем и легко закрепляется в штативе или устанавливается на подставке во время хранения.

Чтобы показать устройство и действие водоструйного насоса, его проецируют на экран. Прибор укрепляют на штативе и помещают перед конденсором проекционного аппарата, как показано на рисунке 1-82. При помощи объектива с оборотной призмой на экране получают прямое изображение и объясняют расположение деталей.

Затем, воспользовавшись в качестве индикатора дымом от зажженной папиросы, которую надевают на ниппель *3*, показывают действие прибора. Для этого медленно продувают воздух резиновой грушей от гигрометра через входной ниппель. На экране хорошо видно, как дым поступает через ниппель отсоса в камеру, а затем, увлекаемый воздушным потоком, выходит наружу.

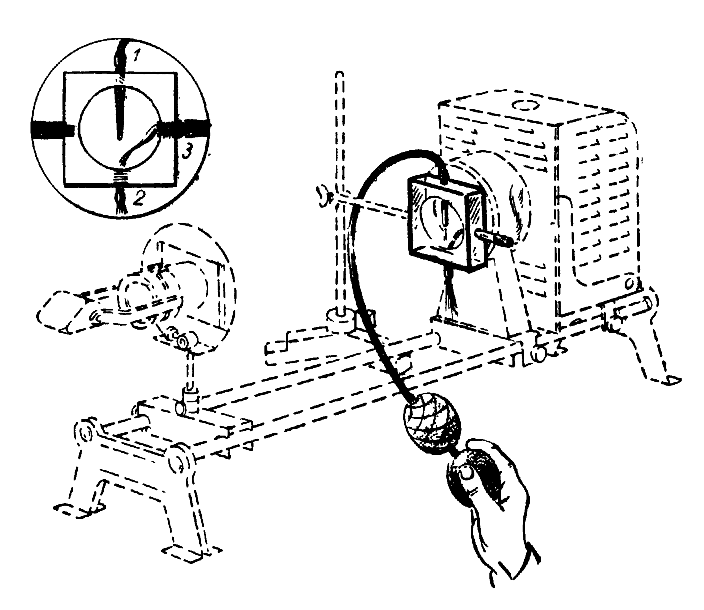


Рис. 1-82. Демонстрация устройства и принципа действия модели водоструйного насоса.

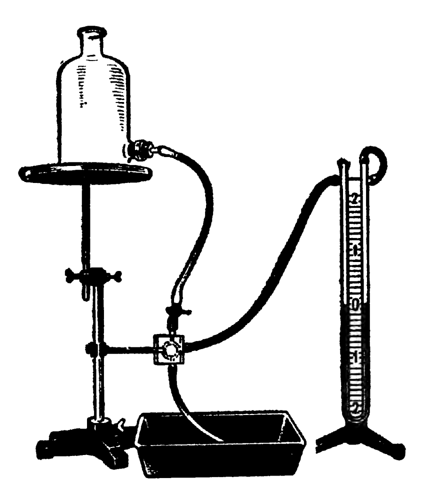


Рис. 1-83. Демонстрация действия водоструйного насоса.

Далее демонстрируют действие этого же водоструйного насоса со струей воды и манометром. Склянку с водой устанавливают на подъемном столике, который закрепляют в муфте на стержне штатива (рис. 1-83). На выходной ниппель надевают резиновую трубку длиной 10—15 см и внутренним диаметром 4—5 мм и направляют ее в кювету для стока воды. К ниппелю отсоса присоединяют манометр.

Открывают кран или винтовой зажим полностью и пускают воду. По манометру наблюдают за понижением давления, которое достигает 15—20 см вод. ст.

ОПЫТ 48. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В СТРУЕ ВОЗДУХА

Оборудование: 1) две легкие изогнутые пластины на опорной вилке, 2) воздуходувка, 3) стеклянная трубка с кольцевой насадкой и картонным диском, 4) модель дома с откидной крышей, 5) штатив универсальный, 6) воронка стеклянная диаметром 70—100 мм, 7) целлулоидный шарик от настольного тенниса.

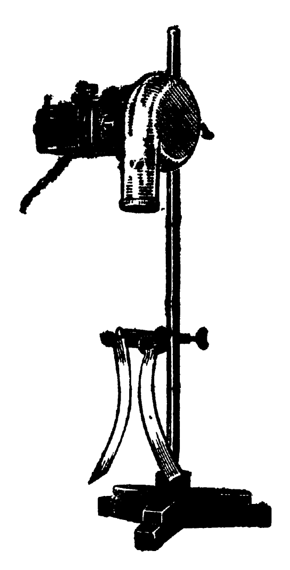


Рис. 1-84. Демонстрация зависимости давления от скорости воздушного потока.

Уменьшением давления в воздушной струе объясняют многие явления, которые на первый взгляд кажутся парадоксальными. К таким явлениям относятся описанные ниже опыты.

1. Две легкие изогнутые пластины размером 100×160 мм из белой жести или алюминия свободно подвешивают на ветви вилки с расстоянием 4—5 см одна от другой (рис. 1-84). Стержень (ручку) вилки зажимают в муфте штатива так, чтобы в сторону класса пластины были обращены своими торцами и видно было, что выпуклости направлены навстречу друг другу. Сверху штатива на расстоянии приблизительно 15—20 см от пластин укрепляют воздуходувку.

Направляют воздушный поток вдоль изогнутых внутрь пластин. Вследствие сужения потока давление между пластинами уменьшается, и под действием более высокого атмосферного давления снаружи они заметно сближаются, хотя уча-

щиеся часто предполагают увидеть обратное явление. При достаточно большой скорости потока пластины начинают ударять друг друга и отскакивать, так как при соприкосновении воздушный поток между ними периодически прерывается.

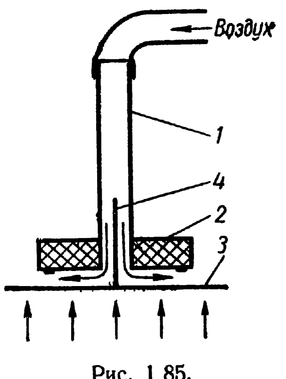
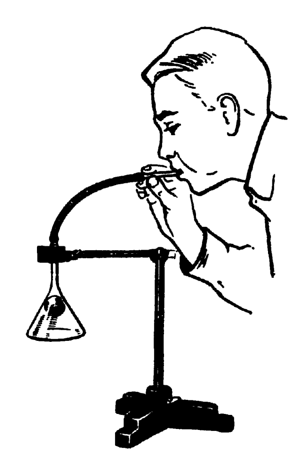


Рис. 1 85.

2. На рисунке 1-85 показан самодельный прибор. Он состоит из стеклянной трубки *1* длиной 20—25 см и диаметром 7—8 мм, кольцевой насадки *2*, из пробки диаметром 40—50 мм и легкого картонного диска *3* диаметром приблизительно 70 мм. Трубка должна плотно входить в отверстие пробки и не выступать за ее нижнюю поверхность. В центре диска укреплен небольшой легкий деревянный стерженек *4* диаметром 2—3 мм и длиной 50—60 мм, а на кольцевой насадке — три опоры (головки небольших, вбитых в пробку гвоздей).

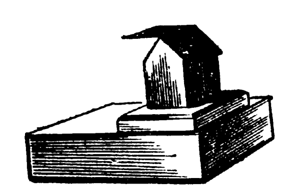

Рис. 1-86.

Сначала показывают учащимся, что картонный диск ничем снизу не удерживается: стерженек свободно входит в трубку и является лишь направляющим, чтобы диск не смещался в стороны. Затем, поддерживая диск рукой на расстоянии около 1 см от конца трубки, сильно продувают через нее воздух и руку отнимают. При этом наблюдают, как диск приподнимается к трубке и удерживается у ее нижнего конца все время, пока продувается воздух.

После первого опыта с пластинами учащиеся легко понимают, что большая скорость истечения воздуха в щель между диском и кольцевой насадкой вызывает понижение давления между ними и атмосферное давление снизу прижимает картонный диск к трубке.

3. Подобный опыт можно проделать с легким целлулоидным шариком в стеклянной воронке (рис. 1-86). Шарик кладут на руку и вводят его снизу в воронку, слегка изгибая ладонь и приближая шарик к входной трубке на расстояние 2—3 см. Затем сильно продувают воздух через трубку и наблюдают, как шарик поднимается внутрь конуса воронки, где создается пониженное давление. Слегка вибрируя, шарик удерживается там, пока идет струя воздуха.

Вибрирование объясняется следующими периодически повторяющимися явлениями. Шарик, касаясь стенок воронки, прерывает воздушный поток и начинает падать. В это время струя воздуха



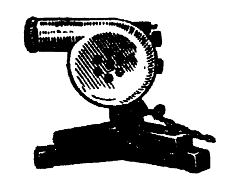


Рис. 1-87. Демонстрация «срыва» крыши.

восстанавливается, давление между воронкой и шариком опять уменьшается и он снова втягивается вверх.

4. Полезно показать, как уменьшение давления над крышей дома при большой скорости ветра приводит к срыву крыши. Для этого изготавливают небольшую модель дома с картонной крышей, прикрепленной с помощью спицы лишь вдоль «конька» так, что обе части крыши могут свободно перегибаться вверху на гребне.

Направляют воздушный поток от воздуходувки на крышу модели и постепенно увеличивают его скорость (рис. 1-87). При этом та сторона крыши, которая обращена к воздуходувке, прижимается потоком, а другая при некоторой скорости потока приподнимается и располагается горизонтально в направлении потока.

ОПЫТ 49. ПАРЕНИЕ ШАРИКА В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ

Оборудование: 1) воздуходувка, 2) тренога от универсального штатива, 3) шарик целлулоидный диаметром 30—35 мм и массой 1,5—2 г, 4) химический стакан.

Понижением статического давления в воздушном потоке (см. предыдущий опыт) объясняют парение в нем легкого целлулоидного шарика. Чтобы продемонстрировать этот опыт, устанавливают воздуходувку выходным отверстием вертикально вверх (рис. 1-88). Электродвигатель включают сначала не на полное число оборотов. В установившийся воздушный поток вносят шарик на некотором расстоянии от выходного отверстия воздуходувки и отпускают его. Шарик парит (висит) в воздушном потоке.

Демонстрацию этого опыта можно начать и несколько иначе. Не включая электродвигатель, положить шарик на решетку выходного отверстия воздуходувки. Затем включить ток и понемногу повышать напряжение до нормального. При этом скорость потока будет увеличиваться, а шарик постепенно подниматься и парить в воздухе.

Далее медленно передвигают всю установку с воздуходувкой по столу. Шарик следует за потоком.

Объясняют учащимся, что такое устойчивое положение шарика в воздухе создается благодаря наличию в потоке бокового уменьшенного статического давления. Атмосферное давление превышает статическое. Сила тяжести, действующая на шарик, уравновешивается силой динамического давления.

После этого, слегка ослабив винты крепления воздуходувки на кронштейне электродвигателя, медленно поворачивают ее на не-

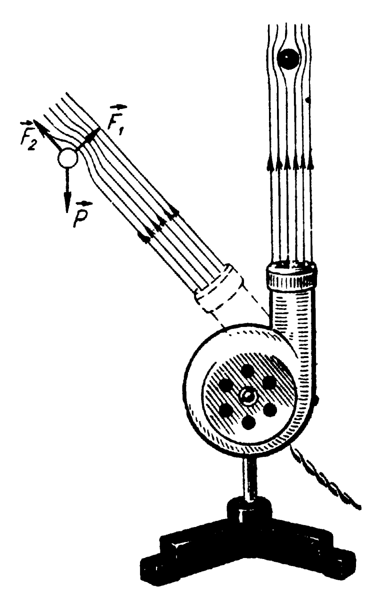
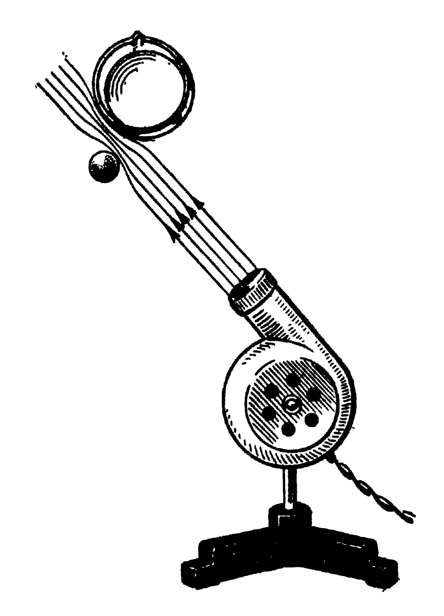



Рис. 1-88. Демонстрация парения шарика в воздушном потоке.


Рис. 1-89.

который угол (до 45°) и наблюдают, как шарик продолжает висеть в воздухе при наклонном направлении потока. В этом случае сила тяжести $\vec{P}$ уравновешивается подсасывающим действием струи потока (сила $\vec{F}_1$) и динамическим давлением (сила $\vec{F}_2$, рис. 1-88, слева).

В заключение полезно продемонстрировать образование области пониженного давления при суживании воздушного потока с помощью какого-либо изогнутого предмета, например поверхности химического стакана. Подносят с противоположной стороны потока боковой поверхностью литровый химический стакан (рис. 1-89). Постепенно приближая его к шарику, наблюдают, как последний притягивается к стакану: с уменьшением сечения потока увеличивается скорость, уменьшается давление и шарик втягивается в эту область.

Ударившись о стенку стакана, шарик прерывает поток и отскакивает; опять образуется узкий поток с уменьшенным давлением, куда вновь втянется шарик, и т. д. В результате будет издаваться достаточно громкий звук от сравнительно частых ударов шарика по стакану.

В описанных опытах вместо целлулоидного шарика можно применять самодельный легкий шарик из корковой пробки, обточив ее сначала напильником, а затем мелкой наждачной бумагой.

ОПЫТ 50. ПОДЪЕМНАЯ СИЛА КРЫЛА САМОЛЕТА

Оборудование: 1) модель крыла на подставке, 2) воздуходувка, 3) микроманометр с трубкой-зондом, 4) весы неравноплечие чувствительные.

Модель крыла изготовляется из тонкой пластинки алюминия или жести размером 140×50 мм. Профиль крыла имеет верхнюю выпуклую и нижнюю плоскую поверхность. Для установки на подставке или на весах модель снабжена держателем из проволоки диаметром 1,5 мм, изогнутой под прямым углом. Один конец держателя вставляется в отогнутые ушки, расположенные по бокам модели, и является осью, совпадающей с центром тяжести. Свободный конец держателя имеет длину 105 мм и служит для установки прибора в подставке. Модель с достаточным трением удерживается на держателе и может быть повернута вокруг оси.

Для опыта прибор устанавливают на расстоянии 20—25 см от выходного отверстия воздуходувки (рис. 1-90). При этом обращают внимание учащихся, что нижняя плоскость параллельна воздушному потоку (угол атаки равен нулю). Включают воздуходувку и трубкой-зондом, соединенным с микроманометром, определяют величину статического давления над и под крылом. Трубку-зонд располагают изогнутым концом параллельно воздушному потоку сначала вблизи верхней поверхности крыла (на ее более выпуклой части) и наблюдают понижение давления на 4—5 мм вод. ст. против атмосферного.

Затем переносят трубку-зонд под крыло и обнаруживают, что здесь давление почти равно атмосферному, а несколько ближе к задней кромке крыла даже выше атмосферного на 1—2 мм вод. ст.

Таким образом убеждаются, что разность давлений над и под крылом обусловливает подъемную силу крыла.

После этого устанавливают модель на весах, как показано на рисунке 1-91. С помощью противовеса уравновешивают весы.

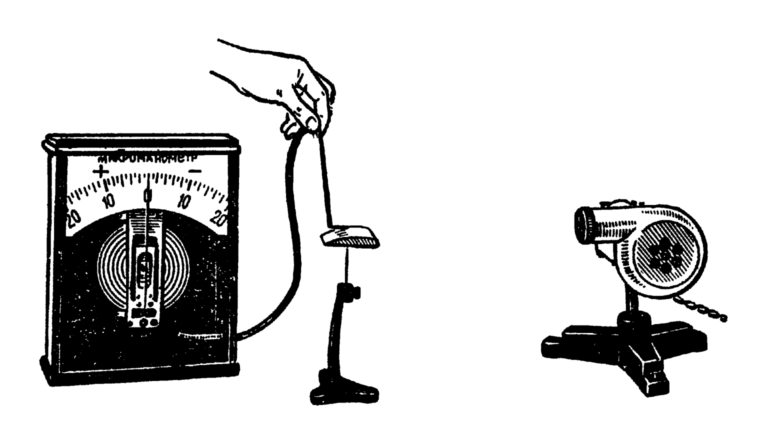


Рис. 1-90. Установка для исследования давления над и под крылом.

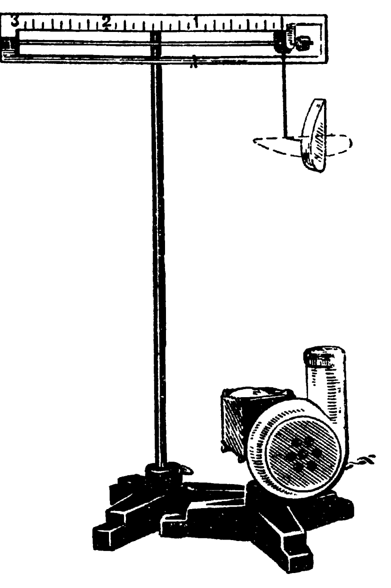
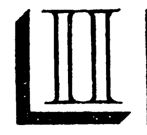


Рис. 1-91. Сравнение подъемной силы и лобового сопротивления крыла.

Направляют воздушный поток на модель крыла и наблюдают, как она поднимается вверх. Снова приводят весы в равновесие, чтобы модель заняла исходное положение, и определяют величину подъемной силы. Повертывают модель вокруг изогнутого конца держателя, как показано на рисунке 1-91 пунктиром, и воздушный поток направляют горизонтально. При той же скорости воздушного потока определяют величину лобового сопротивления. Делают вывод, что оно меньше подъемной силы крыла самолета.

Демонстрацию подъемной силы и лобового сопротивления полезно показать и при некоторых положительных углах атаки, для чего во время опыта модель слегка повертывают на держателе.



МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

К приборам, которые применяются в этой главе и носят универсальный характер, относятся: демонстрационный гальванометр с термопарой, демонстрационный манометр, металлический микроманометр и измеритель малых перемещений.

Демонстрационный гальванометр М1032[1]. Термопара и специальная температурная шкала к гальванометру не прилагаются. Можно воспользоваться термопарой из лабораторного набора, выпускаемого промышленностью, или изготовить самим в школьной мастерской.

Термопару делают из двух проволок — константановой (от старого реостата) и железной, предварительно отожженной. Диаметр проволок равен приблизительно 0,3 мм, а длина — около 150 мм. Концы проволок сначала скручивают, а затем для надежности контакта сваривают в электрической дуговой лампе. Свободные концы проволок закрепляют в изолированной колодке с двумя зажимами.

Гальванометр, соединенный с такой термопарой, является весьма чувствительным индикатором, регистрирующим незначительные изменения температуры, и находит применение в ряде опытов.

Для изготовления температурной шкалы вырезают из плотной бумаги полоску размером 300 × 80 мм. Один ее край загибают и полоску надевают на шкалу гальванометра в качестве подложки будущей шкалы термометра.

Для градуировки шкалы ставят переключатель чувствительности гальванометра в положение «×10» и к его зажимам присоединяют термопару через дополнительный проволочный переменный резистор сопротивлением 30 Ом, как показано по схеме (рис. 2-1). Затем спаи термопары погружают в тающий лед рядом с жидкостным термометром. Когда последний покажет 0 °С, корректором

---

[1] См.: «Физика в школе», 1973, № 6, с. 76.

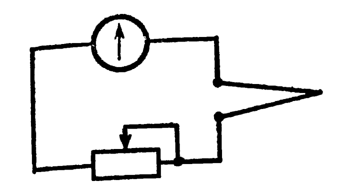


Рис. 2-1. Схема электрического термометра.

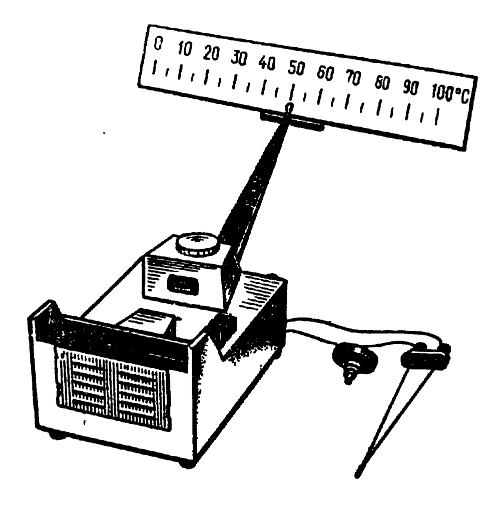


Рис. 2-2. Демонстрационный гальванометр М1032 с термопарой.

устанавливают световой указатель гальванометра на левый край подложки и делают карандашом нулевую отметку.

После этого термопару и термометр помещают в кипящую воду и, когда термометр покажет 100 °С, плавно уменьшают сопротивление резистора так, чтобы световой указатель переместился на правый конец подложки, где делают вторую отметку. Разделив полученный участок на 20 равных делений, наносят штрихи тушью и оцифровывают их.

С такой щкалой и резистором гальванометр становится электрическим термометром (рис. 2-2), обеспечивающим измерения температуры в интервале 0—100 °С с ценой деления 5 °С. Если переключить регулятор чувствительности гальванометра в положение «×1», то вся шкала будет составлять 10 °С с ценой деления 0,5 °С. Очевидно, во время градуировки можно подобрать переменным резистором такое сопротивление, при котором вся шкала будет равна 40 °С с ценой деления 2 °С.

Настройка прибора и его применение в качестве индикатора и термометра подробно описаны в опыте 57[1].

Демонстрационный металлический манометр открытого типа в настоящее время выпускается Главучтехпромом. Прибор имеет большую равномерную шкалу (пределы измерения 0—6 ат) с ценой деления 0,5 ат, большую стрелку и смонтирован на устойчивой стойке с двумя кранами и треногой (рис. 2-3). Применяется демонстрационный манометр главным образом для изучения устройства и принципа действия технического манометра и в ограниченном круге опытов, где требуются сравнительно грубые измерения за пределами одной атмосферы. Значительно большее применение в различных школьных опытах находит другой манометр, выпускаемый

---

[1] Для измерения температуры можно воспользоваться и гальванометром Главучтехпрома с термобатареей (см.: Демонстрационные опыты в VI—VII классах средней школы. Под ред. А. А Покровского. М., 1974, гл. IV, § 1).

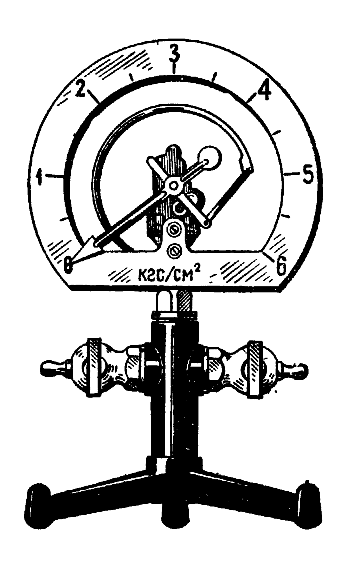


Рис. 2-3. Демонстрационный манометр Главучтехпрома.

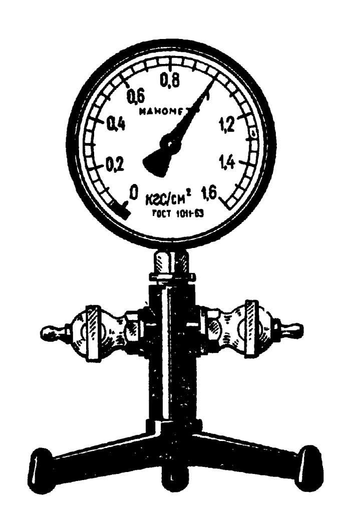


Рис. 2-4. Демонстрационный манометр с пределом измерения 0—1,6 ат.

специализированной промышленностью (рис. 2-4). Он имеет шкалу диаметром 140 мм, пределы измерения от 0 до 1,6 ат, цену деления 0,05 ат и оцифровку через каждые 0,2 ат. Прибор применяется для измерения давлений как бóльших, так и мéньших атмосферы с указанной точностью.

Сравнительно крупные деления шкалы, крупные цифры и стрелка хорошо видны издали, а пределы измерения прибора и точность являются вполне подходящими для демонстрационных целей. Поэтому прибор может применяться в школьных демонстрационных опытах без всяких изменений и переделок[1].

Единственное неудобство состоит в том, что манометр выпускается без стойки. Однако этот недостаток легко устраним: к прибору хорошо подходит стойка от открытого демонстрационного манометра Главучтехпрома.

Металлический микроманометр (рис. 2-5) заменяет жидкостный манометр и дает возможность наглядно измерять давления в пределах от —20 до +20 мм вод. ст. с точностью до 1 мм.

Измеритель малых перемещений (рис. 2-6) действует на сжатие и растяжение (шкала имеет две оцифровки) и дает возможность измерять расстояния не более 10 мм с точностью 0,01 мм. На обрат-

---

[1] По шкалам манометров показания снимаются в атмосферах (на шкалах учебных приборов стоит кгс/см²), что при вычислениях легко переводится в единицы СИ: 1ат округленно равна 100 000 Н/м².

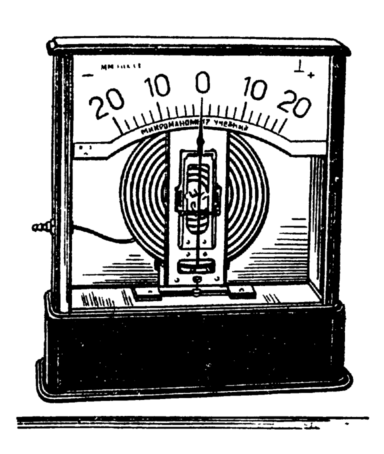


Рис. 2-5. Микроманометр металлический.

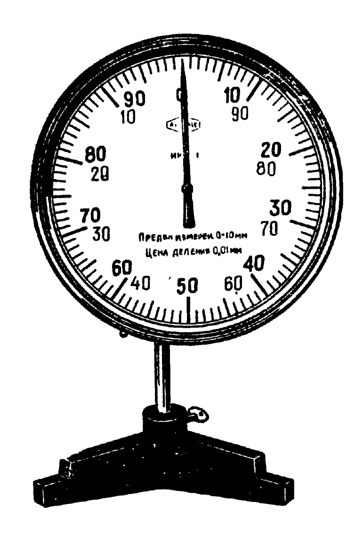


Рис. 2-6. Измеритель малых перемещений.

ной стороне прибора имеется небольшой опорный стержень, позволяющий закреплять измеритель в муфте от универсального штатива.

§ 1. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

ОПЫТ 51. МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БРОУНОВСКОГО ДВИЖЕНИЯ

Оборудование: 1) прибор для демонстрации модели броуновского движения, 2) проекционный аппарат с приспособлением для горизонтального проецирования, 3) кинопроектор, 4) кинокольцовка «Броуновское движение»[1].

Распространенный школьный прибор (рис. 2-7) устанавливают на проекционном аппарате, подготовленном для горизонтального проецирования. Над прибором закрепляют объектив с плоским зеркалом или оборотной призмой (рис. 2-8). Проецируют прибор, добиваясь резкости изображения стальных шариков или резиновой пробки. Объясняют учащимся устройство прибора, моделирующего броуновское движение, обращая внимание на основные детали: кольцо из плоской пружины, ударный механизм, стальные шарики, изображающие молекулы, и небольшую резиновую пробку — частицу с большей массой, чем шарики.

---

[1] Молекулы и молекулярное движение. 2 ч. (3 фрагм.). Ленинградская киностудия научно-популярных фильмов, 1970. Продолжительность демонстрации — 20 мин.

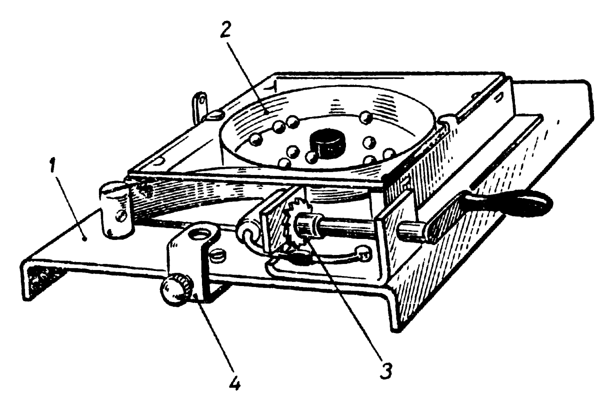


Рис. 2-7. Прибор для демонстрации модели броуновского движения:

1 — металлическая рама; *2* — стальная плоская пружина; *3* — ударный механизм с зубчаткой, ударником и ручкой; *4*—скоба для крепления прибора на проекционном аппарате.

Чтобы пружина была хорошо видна на экране, на нее слегка нажимают со стороны ударника внутрь, к центру кольца. Полезно также возбудить пружину простым щелчком от руки и показать, как отскакивают от нее отдельные шарики.

Затем вращают ручку ударного механизма, и учащиеся слышат характерный звук от ударника. Одновременно с этим они видят на экране, как под влиянием быстрого хаотического движения шариков, имитирующего движение молекул, совершает беспорядочное движение пробка. Она перемещается вследствие одновременной бомбардировки несколькими шариками. Приблизительная картина одного из моментов, наблюдаемых на экране, представлена на рисунке 2-9.

Верхнее стекло прибора вынимается, что дает возможность менять число шариков и брать пробку различной величины.

После опыта надо показать учащимся кинокольцовку «Броуновское движение», в которой это явле-

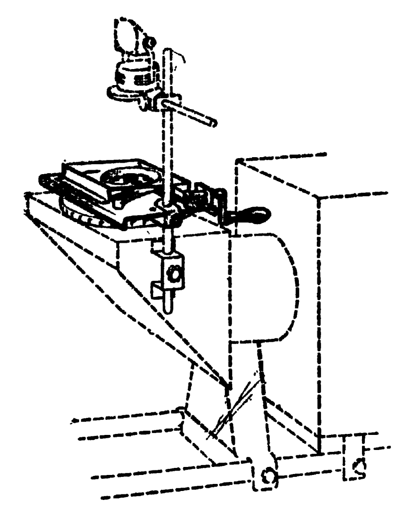


Рис. 2-8. Установка прибора на проекционном аппарате.

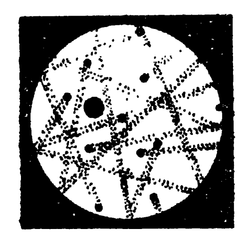


Рис. 2-9. Картина, наблюдаемая на экране во время демонстрации модели броуновского движения.

ние демонстрируется в таком виде, как оно наблюдается в микроскопе. Перед кольцовкой следует кратко ознакомить учащихся с приготовлением жидкого препарата для наблюдения под микроскопом. В заключение полезно показать камеру, с которой особенно удобно в практикуме наблюдать броуновское движение частичек дыма[1].

Если такой кинокольцовки в школе нет, то можно воспользоваться вторым фрагментом из кинофильма «Молекулы и молекулярное движение». Следует показать первую половину фрагмента, где представлено снятое методом микросъемки броуновское движение частиц краски в воде. Приводят объяснение причины хаотического движения частиц. Сосредоточивают внимание на одной частице, отмечают ее положение через каждые 30 с и показывают траекторию движения.

ОПЫТ 52. СВОБОДНАЯ ДИФФУЗИЯ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ

Оборудование: 1) два цилиндра высотой 30—40 см, 2) настольный экран, 3) стеклянная пластинка, 4) бром, 5) раствор медного купороса, 6) вода дистиллированная, 7) кружок из пробки, 8) воронка с длинной трубкой.

Постановка опытов по диффузии газов затруднена тем, что газы в большинстве своем бесцветны. Поэтому для таких демонстраций часто пользуются парами, имеющими ту или иную яркую окраску, например коричневыми парами брома.

На дно высокого стеклянного цилиндра аккуратно, не забрызгивая стенок, вводят с помощью стеклянной трубки несколько капель брома. Цилиндр закрывают стеклянной пластинкой, чтобы удушливые пары не смогли в дальнейшем выйти наружу. За цилиндром помещают белый настольный экран, и установка готова для наблюдения (рис. 2-10).

Образовавшиеся пары брома тяжелее воздуха, поэтому они сначала располагаются на дне цилиндра. Затем пары довольно быстро диффундируют вверх и заметно окрашивают воздух.

Чтобы наглядно показать различие в скорости диффузии газов и жидкостей, взятых при одинаковых условиях, целесообразно вместе с описанной установкой выставить на демонстрационный стол второй такой же цилиндр с насыщенным раствором медного купороса (внизу) и дистиллированной водой

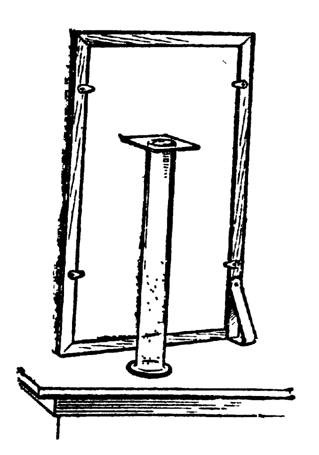


Рис. 2-10. Диффузия паров брома в воздухе.

[1] Рецепты препарата и камера для дыма описаны в кн.: Практикум по физике в средней школе. Под ред. А. А. Покровского. М., 1973, с. 102—103.

(вверху) с резкой границей раздела между ними. Тогда учащимся будет видно, что за время прохождения диффузии газов на границе жидкостей никаких заметных изменений не произойдет.

Цилиндр с жидкостями к демонстрации подготавливают так. Сначала наливают в него некоторое количество насыщенного раствора медного купороса и опускают на него пробочный кружок толщиной в несколько миллиметров и диаметром немного меньше диаметра цилиндра. Затем понемногу наливают на этот кружок дистиллированную воду через воронку с длинной трубкой. Кружок постепенно всплывает, и под ним образуется резкая граница жидкостей.

Можно подготовку провести иначе. Налить сначала в цилиндр дистиллированную воду, опустить до дна цилиндра стеклянную трубку с воронкой и через нее медленно наливать насыщенный раствор медного купороса. Перед тем как аккуратно вынуть трубку, надо в нее влить немного воды, чтобы вытеснить раствор медного купороса и устранить всякую возможность смешения жидкостей.

По окончании опыта первый цилиндр убирают из класса и наливают в него воду: она хорошо растворяет пары брома. Второй же цилиндр сохраняют, чтобы можно было показать его на уроке еще раз через несколько дней.

ОПЫТ 53. ДИФФУЗИЯ ГАЗОВ ЧЕРЕЗ ПОРИСТУЮ ПЕРЕГОРОДКУ

Оборудование: 1) пористый цилиндр для демонстрации диффузии газов, 2) манометр демонстрационный с резиновой трубкой, 3) прибор для получения водорода и углекислого газа, 4) стакан химический, 5) кинопроектор, 6) кинофильм «Молекулы и молекулярное движение».

Пористый цилиндр (рис. 2-11) соединяют резиновой трубкой с демонстрационным манометром и приводят уровни подкрашенной воды в нем в первоначальное положение. Затем берут цилиндр за цоколь из пластмассы, перевертывают донышком вверх и накрывают небольшим химическим стаканом, как показано на рисунке 2-12. В стакан вводят водород из прибора Киппа (или светильный газ) и наблюдают за изменением уровней воды в манометре.

Средняя скорость движения молекул водорода при одинаковых условиях значительно выше, чем средняя скорость движения более массивных молекул азота и кислорода, составляющих воздух. Последние выходят из цилиндра в меньшем количестве, чем проникают туда более подвижные молекулы водорода. Поэтому внутри цилиндра создается давление, которое и отмечает манометр. Разность уровней быстро достигает максимального значения — 35—40 см.

Снимают стакан с пористого цилиндра и наблюдают обратное явление. Давление в манометре доходит сначала до первоначального, а затем уменьшается. Падение давления объясняется тем, что теперь молекулы водорода, находящиеся внутри цилиндра, выходят из него быстрее, чем туда проникает воздух.



Рис. 2-11. Цилиндр для демонстрации диффузии газов.

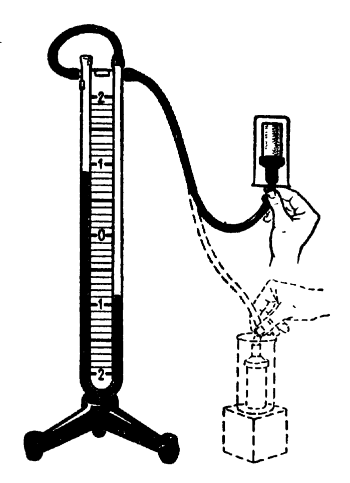


Рис. 2-12. Диффузия водорода и углекислого газа в воздухе.

После этой демонстрации учащимся задают вопрос: как будет протекать явление диффузии, если окружить пористый цилиндр углекислым газом? Правильность ответов проверяют опытом.

Ставят стакан на подставку, наполняют его из прибора Киппа углекислым газом и убеждаются в этом с помощью горящей спички. Опускают цилиндр в стакан, как показано на рисунке 2-12 пунктиром, и наблюдают за манометром. Диффузия углекислого газа протекает в порядке, обратном диффузии водорода, причем максимальные давления будут меньше, чем в первом опыте, что связано с разностью средних скоростей движения молекул углекислого газа, с одной стороны, и молекул азота и кислорода — с другой.

В заключение опыта следует воспользоваться первым фрагментом кинофильма «Молекулы и молекулярное движение», где сначала с помощью мультипликации показывается строение и движение молекул воды и некоторых других веществ. Затем рассматриваются силы притяжения и отталкивания молекул в зависимости от расстояния между ними, а также строение различных тел и явление диффузии жидкостей, газов и твердых тел.

ОПЫТ 54. ПРИЛИПАНИЕ СТЕКЛЯННОЙ ПЛАСТИНКИ К ВОДЕ И КЕРОСИНУ

Оборудование: 1) штатив универсальный, 2) чувствительная пружина или тонкий резиновый шнур, 3) стеклянная пластинка с крючком посередине, 4) два кристаллизатора — с водой и керосином.

Круглую стеклянную пластинку с крючком посередине подвешивают на тонкой пружине, чувствительной к малым нагрузкам (или на тонком резиновом шнуре), и укрепляют в штативе (рис. 2-13).

Проделывая опыт, под пластинку подносят снизу кристаллизатор с водой и следят за тем, чтобы его стенки не касались пластинки, вода же смачивала всю ее нижнюю поверхность. Между стеклом и водой возникает молекулярное сцепление, для преодоления которого требуется некоторое усилие, что и требуется продемонстрировать.

Медленно опускают кристаллизатор и наблюдают, как пластинка держится у поверхности воды при значительном растяжении пружины (резинового шнура). Замечают наибольшее растяжение, при котором пластинка, смоченная водой, отрывается от воды.

Повторяют опыт, но с другой жидкостью. Тщательно вытирают фильтровальной бумагой пластинку и подносят к ней кристаллизатор с керосином. На глаз хорошо заметно, что теперь растяжение той же пружины (шнура) значительно меньше, чем в первом опыте.

Подходящая для такого опыта пружина имеет длину 8—10 см, диаметр около 10 мм и навивается из латунной проволоки диаметром 0,5 мм или стальной проволоки диаметром 0,3 мм. Пластинка берется от распространенного прибора для демонстрации давления жидкости снизу вверх, где она служит отпадающим дном.

ОПЫТ 55. СЦЕПЛЕНИЕ СВИНЦОВЫХ ЦИЛИНДРОВ

Оборудование: 1) штатив универсальный, 2) два свинцовых цилиндра, 3) набор гирь, 4) нож, 5) кювета с песком.

Хорошо очищенные с торца свинцовые цилиндры прикладывают один к другому. Рукой, насколько хватает силы, прижимают их и слегка повертывают вокруг продольной оси.

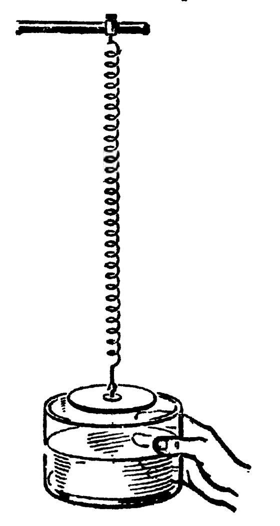


Рис. 2-13. Демонстрация силы сцепления стеклянной пластинки с жидкостью.

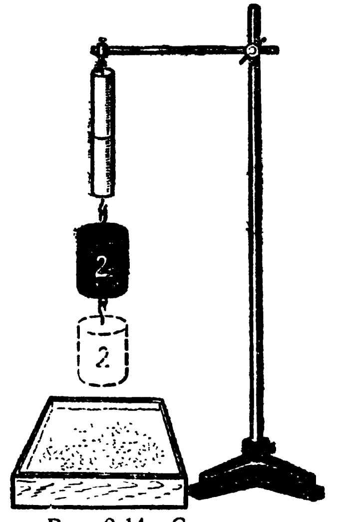


Рис. 2-14. Сцепление свинцовых цилиндров.

Затем подвешивают цилиндры за крючок на заранее подготовленный штатив. Под цилиндры подставляют кювету с песком (в случае падения песок «смягчает» удар), а на свободный крючок вешают гири (рис. 2-14), увеличивая постепенно нагрузку по 1 кг. Обычно сцепление цилиндров выдерживает гирю 5 кг. Когда в процессе демонстрирования приходится подвешивать две гири одну за другой (1 кг + 2 кг; 2 кг + 2 кг), то верхнюю из них надо не забывать поддерживать левой рукой. Тогда исключается опасность падения этой гири на другую руку экспериментатора.

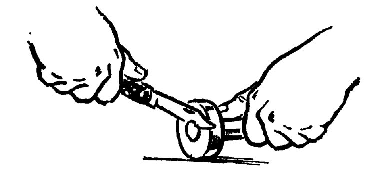


Рис. 2-15. Зачистка свинцового цилиндра.

Успех описанного опыта зависит исключительно от правильной подготовки свинцовых цилиндров. Их торцевые поверхности должны быть прежде всего ровными: без выступов, углублений, царапин, забоин и заусенцев. Кроме того, поверхности должны быть совершенно чистыми, блестящими.

Для устранения замеченных неровностей цилиндры слегка (чтобы не помять) зажимают в тиски и аккуратно обрабатывают напильником с мелкой насечкой. Затем цилиндры закрепляют поочередно в обойме и острым ножом постепенно зачищают поверхность свинца до блеска (рис. 2-15). Этим и заканчивается подготовка. При некотором навыке зачистку цилиндров можно делать, не применяя обоймы: опереть цилиндр о крышку стола и держать его левой рукой.

Можно также воспользоваться специальным приспособлением, выпускаемым Главучтехпромом[1].

ОПЫТ 56. СПРЕССОВЫВАНИЕ СВИНЦОВЫХ ОПИЛОК

Оборудование: 1) гидравлический пресс с приспособлением для спрессования опилок, 2) свинцовые опилки в пробирке, 3) деревянный молоток.

Перед уроком заготавливают с помощью драчового напильника или рашпиля 5—7 см^3 свежих свинцовых опилок и насыпают их в химическую пробирку с пробкой. Проверяют действие гидравлического пресса, который должен создавать для этого опыта давление 100—120 ат. Затем вычерчивают на классной доске разрез приспособления для спрессования опилок (рис. 2-16). Из рисунка видно, что верхний вертикальный стержень служит для спрессовки, а нижний, конусный, встав-

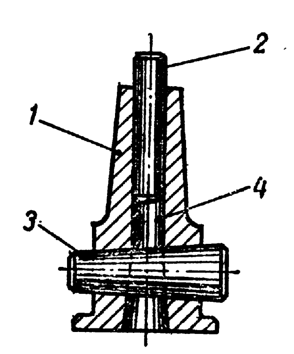
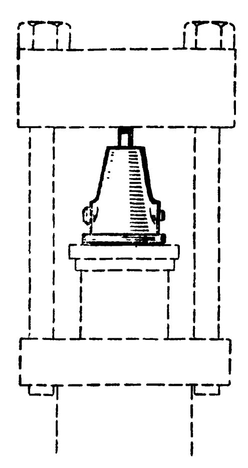


Рис. 2-16. Приспособление для спрессовывания опилок:

1 — корпус; *2* — цилиндрический стержень; *3* — коническая пробка; *4* — место для опилок.

[1] См.: Демонстрационные опыты по физике в VI—VII классах средней школы. Под ред. А. А. Покровского. М., 1974, опыт 10.


Рис. 2-17. Установка для спрессовывания опилок.

ленный горизонтально, является пробкой, которая выбивается деревянным молотком и дает возможность легко вынуть спрессованную деталь из пресс-формы.

На уроке встряхивают пробирку и показывают учащимся находящиеся в ней мелкие свинцовые опилки. Затем рассматривают рисунок и показывают приспособление для спрессовывания опилок. Вынимают из него вертикальный стальной стержень и в отверстие насыпают опилки приблизительно на три четверти его глубины. Снова вставляют стержень одним концом в отверстие, а на другой его конец надевают съемную головку.

Подготовленное таким образом приспособление помещают на середину опущенного вниз большого поршня гидравлического пресса и, наблюдая за тем, чтобы стержень не имел перекоса, делают несколько качаний рукояткой насоса. Большой поршень немного поднимется и слегка прижмет стержень (рис. 2-17). В таком виде установка готова для выполнения опыта.

Приводят пресс в действие и, наблюдая за манометром, доводят давление до 100 ат. При таком давлении между свинцовыми опилками частично восстанавливается молекулярное сцепление, они спрессовываются в сплошную блестящую свинцовую массу цилиндрической формы, в которой нельзя различить отдельных частиц. Свинцовый цилиндр, вынутый из пресс-формы, оказывается достаточно прочным: он распадается на отдельные части только при ударе молотка, это и надо показать учащимся в заключение опыта.

Следует иметь в виду, что подобному прессованию поддаются и опилки других веществ, например красной меди или органического стекла. Однако цилиндрики, полученные из этих материалов путем прессования, будут менее прочными, чем свинцовые, несмотря на то, что давление для их изготовления приходится увеличивать до 150 ат.

§ 2. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

ОПЫТ 57. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТЕРМОМЕТРОМ

Оборудование: 1) гальванометр демонстрационный М1032 с термопарой, 2) термометр демонстрационный жидкостный, 3) два стакана с водой (холодной и подогретой).

Переключают регулятор чувствительности гальванометра в положение «×1» (максимальная чувствительность) и присоединяют

к его зажимам термопару из двух тонких проволок. На шкале с нулем посередине корректором устанавливают указатель гальванометра на нулевое деление. Прибор готов как индикатор.

Термопарой касаются ладони руки и замечают отклонение стрелки вправо. На один момент опускают спай термопары в холодную воду и затем слегка помахивают термопарой в воздухе. Вследствие испарения воды температура термопары понижается и стрелка быстро отклоняется влево от нуля. Таким образом убеждаются, что термопара с гальванометром представляет собой весьма чувствительный индикатор для обнаружения незначительного изменения температуры.

Учащихся знакомят с другим назначением этого прибора — электрическим термометром. Заменяют шкалу другой, имеющей, например, 20 делений, и присоединяют к зажимам гальванометра термопару с заранее подобранным сопротивлением, при котором вся шкала рассчитана на 40 °С с ценой деления 2 °С.

По жидкостному термометру с крупными, хорошо видимыми делениями определяют комнатную температуру, например, 20 °С. Корректором устанавливают указатель гальванометра на деление шкалы, соответствующее 20 °С. Установка готова для измерения температуры.

Ставят оба термометра в стакан с холодной водой и наблюдают за их показаниями. Затем переносят термометры в теплую воду и снова проводят такие же наблюдения. Убеждаются, что оба прибора дают одинаковые показания; следовательно, термопарой с гальванометром можно измерять температуру так же, как и обычным термометром. Обращают внимание учащихся, что электрический термометр обладает меньшей теплоемкостью. Он значительно быстрее воспринимает температуру окружающей среды.

ОПЫТ 58. ЗАКОН БОЙЛЯ—МАРИОТТА

Оборудование: 1) цилиндр переменного объема, 2) манометр демонстрационный закрытый со шкалой 0—1,6 ат, 3) трубка резиновая.

Перед опытом показывают учащимся отдельно прибор для изучения газовых законов, изображенный на рисунке 2-18 вместе с манометром. Обращают внимание на основную часть прибора — закрытый гофрированный цилиндр *1* (сильфон), который соединяется с наружным воздухом только через небольшой изогнутый патрубок *2*, впаянный в металлическую крышку *3*. Сильфон при помощи винта *4* можно растягивать, причем объем воздуха, заключенный внутри прибора, изменяется пропорционально высоте.

Измеряется объем газа в условных единицах по прикрепленной к прибору четкой демонстрационной шкале с десятью делениями. Указателем при таких измерениях служит у сильфона край крышки *3*. Начальный объем сильфона — пять условных единиц, а конечный — десять. Чтобы не растягивать сильфон сверх нормы, на стойки надеты две небольшие трубки-ограничители *5*.

Для проведения опыта сильфон соединяют резиновой трубкой с манометром, как показано на рисунке. Открывают у манометра оба крана и с помощью винта растягивают или сжимают цилиндр так, чтобы объем воздуха в нем стал, например, 7,5 усл. ед. Затем закрывают свободный кран манометра и приступают к демонстрации.

Несколько раз медленно изменяют объем воздуха в приборе и наблюдают за показаниями манометра. Убеждаются, что с уменьшением (или с увеличением) объема давление увеличивается (или уменьшается) во столько же раз. Результаты измерений записывают на классной доске в таблицу:

V	p	Vp
7,5	1	7,50
7,0	1,06	7,42
6,5	1,15	7,47
6,0	1,25	7,50
8,0	0,94	7,52
8,5	0,88	7,48
9,0	0,83	7,47

Полученные результаты дают возможность сделать вывод, что при неизменной массе газа и постоянной температуре произведение объема газа на давление есть величина постоянная, т. е. объем газа обратно пропорционален производимому на него давлению.

При отсутствии прибора с сильфоном закон Бойля — Мариотта можно продемонстрировать с самодельным прибором на простой установке, показанной на рисунке 2-19. В плоскодонную коническую колбу емкостью приблизительно 0,5 л, имеющую сбоку тубус, вливают немного подкрашенной воды. Затем плотно закрывают

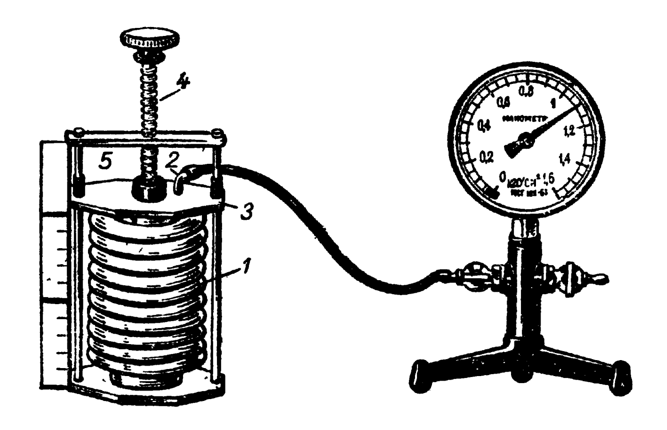


Рис. 2-18. Установка для демонстрации закона Бойля—Мариотта.

колбу резиновой пробкой, через которую предварительно пропускают бюретку или простую стеклянную трубку длиной 70 см и диаметром 10—12 мм. При этом нижний конец бюретки должен быть опущен в воду. С помощью тонких резиновых колец или медной проволоки закрепляют на бюретке шкалу из плотной бумаги. Четкие сантиметровые деления шкалы должны быть оцифрованы через каждые десять делений. На верхний конец бюретки надевают резиновый патрубок с винтовым зажимом. Через тубус соединяют колбу с одним краном манометра, другой же кран закрывают.

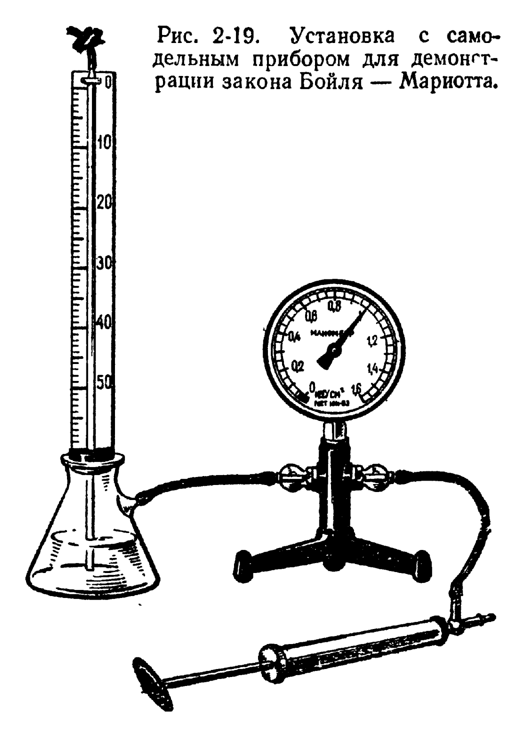


Рис. 2-19. Установка с самодельным прибором для демонстрации закона Бойля — Мариотта.

Перед опытом через верхний патрубок подливают в бюретку столько подкрашенной воды, чтобы ее уровень оказался на 24—25-м делении шкалы. Плотно закрывают зажим, присоединяют к манометру ручной насос и для удобства отсчета доводят давление до 1,1 ат. На этом заканчивается подготовка установки.

Демонстрацию начинают с того, что замечают по манометру начальное давление (1,1 ат) и по шкале начальный объем воздуха в условных единицах (в нашем опыте 22 ед.). Затем насосом постепенно увеличивают давление до 1,5 ат и через каждую 0,1 ат измеряют объем воздуха. Все результаты измерений записывают в таблицу:

V	*p*	*Vp*
22,0	1,1	24,2
20,0	1,2	24,0
18,5	1,3	24,0
17,0	1,4	23,8
16,2	1,5	24,3
27,0	0,9	24,3
30,5	0,8	24,4
34,5	0,7	24,1
40,0	0,6	24,0
48,0	0,5	24,0

Затем возвращают уровень воды в приборе в исходное положение ($p = 1,1$ ат; $V = 22$ ед.) и показывают изменение объема воздуха в бюретке при давлениях, меньших атмосферы. Насосом постепенно создают разреженное пространство в колбе; измеряют и записывают в ту же таблицу давления и объемы воздуха через каждую 0,1 ат, как в предыдущем случае.

Анализ полученных результатов показывает, что при такой постановке опыта нет необходимости вводить поправку на давление водяного столба в бюретке. Не вносит заметных искажений и неизбежное присутствие насыщающих паров воды в бюретке. Результаты позволяют сделать такой же вывод, как и в опыте с сильфоном.

ОПЫТ 59. ЗАКОН ГЕЙ-ЛЮССАКА

Оборудование: 1) цилиндр переменного объема, 2) манометр демонстрационный закрытый со шкалой 0—1,6 ат, 3) гальванометр демонстрационный М1032 с термопарой, 4) банка стеклянная, 5) парообразователь лабораторный, 6) электрическая плитка или другой нагреватель, 7) брусок-подставка, 8) резиновые трубки — 2 шт., 9) лед или снег.

Собирают установку по рисунку 2-20. Для этого цилиндр переменного объема соединяют резиновой трубкой с демонстрационным манометром и помещают в банку с водой. В воду заранее бросают кусочки льда или снега, чтобы температура воздуха в цилиндре в начале опыта была 0 °С. Давление воздуха в цилиндре удобнее взять равным атмосферному, для чего цилиндр в начале опыта соединяют с внешним пространством, т. е. открывают оба крана у манометра.

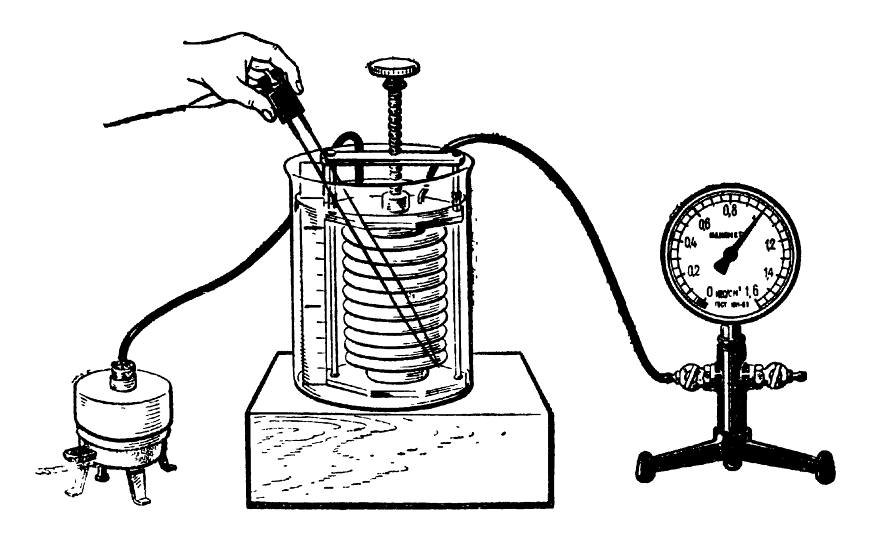
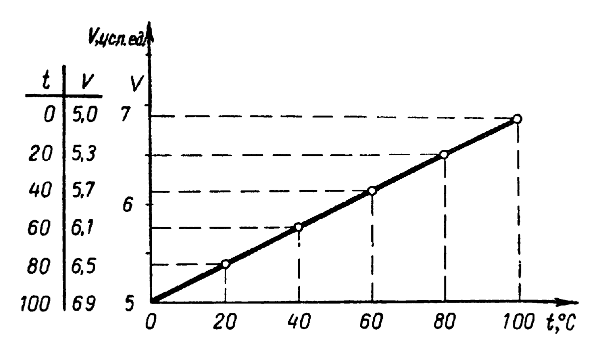


Рис. 2-20. Установка для изучения газовых законов.

Рис. 2-21. График зависимости объема газа от температуры.



Когда воздух в цилиндре охладится до 0 °C (в воду для контроля опускают на короткое время термопару электрического термометра), свободный кран манометра закрывают. Записывают начальный объем, например 5 ед., температуру воздуха 0 °C и пропускают через воду пар, опустив в банку резиновую трубку от парообразователя.

Давление воздуха внутри цилиндра начинает повышаться. Тогда изменяют с помощью винта объем воздуха в цилиндре так, чтобы давление оставалось все время постоянным, равным первоначальному. Тщательно перемешивают воду в банке и через каждые 20 °C измеряют: по шкале прибора объем воздуха в цилиндре в условных единицах (десятые доли определяют на глаз), а с помощью электрического термометра температуру. Результаты измерений записывают на классной доске в таблицу, как показано на рисунке 2-21.

Взяв за начало координат первоначальный объем 5 усл. ед. и 0 °C, по полученным результатам вычерчивают график. Он показывает, что увеличение объема воздуха при нагревании на одинаковое число градусов остается постоянным. Затем по уравнению

$$\alpha = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t}$$

вычисляют коэффициент объемного расширения воздуха при постоянном давлении и убеждаются, что он составляет примерно $^1/_{273}$ часть объема, занимаемого воздухом при 0 °C.

Успех этого и двух последующих опытов в значительной степени зависит от герметичности соединений сильфона с манометром и от времени, достаточного для охлаждения и нагревания воздуха в цилиндре. Поэтому перед опытом надо испытать установку: смазать тавотом краны манометра, тщательно соединить его с сильфоном и получить давление 1,5 ат. Если в течение 10 мин показание манометра остается неизменным, то подготовку можно считать законченной.

Для того чтобы сократить время выполнения опыта, надо охлаждать воду льдом или снегом до начала урока. Кроме того,

можно заранее приготовить горячую воду и, подливая ее в банку с холодной водой, сделать несколько измерений объема воздуха при разных температурах.

Следует иметь в виду, что манометр в описанном опыте служит не измерителем давления, а лишь индикатором, позволяющим следить и поддерживать давление в цилиндре постоянным. Поэтому указанный манометр можно заменить любым другим, например демонстрационным манометром Главучтехпрома.

ОПЫТ 60. ЗАКОН ШАРЛЯ

Оборудование: такое же, как в предыдущем опыте.

Заранее берут объем цилиндра 7—9 усл. ед. и собирают установку, описанную в предыдущем опыте. Открывают краны у демонстрационного манометра (соединяют установку с атмосферой) и опускают сильфон в сосуд с водой, в котором плавают кусочки льда или снега. (Снега надо брать столько, чтобы небольшое количество его все время оставалось в воде.)

Когда цилиндр и содержащийся в нем воздух охладятся до 0 °С (для контроля опускают в воду на короткое время термопару электрического термометра), кран у манометра закрывают. Обращают внимание учащихся, что начальное состояние изолированного воздуха, занимающего некоторый постоянный объем, будет такое: $t = 0$ °С, $p = 1$ ат.

Пропускают через воду пар из кипятильника. По мере нагревания воздуха, о чем судят по демонстрационному электрическому термометру, наблюдают по манометру постепенное увеличение давления в цилиндре. Через каждые 20 °С записывают на классной доске в таблицу температуру и давление воздуха, как показано на рисунке 2-22, и вычерчивают график. На основании графика и анализа результатов, внесенных в таблицу, делают заключение, что при постоянном объеме давление воздуха изменяется прямо пропорционально температуре.

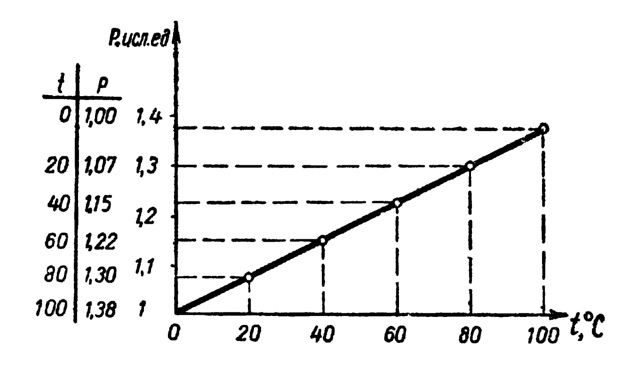


Рис. 2-22. График зависимости давления газа от температуры.

После этого можно вычислить по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta p}{p_0 \Delta t}$$

термический коэффициент давления воздуха для одного-двух измерений. Его значение оказывается весьма близким к числу 0,0036, т. е. составляет $^1/_{273}$ часть первоначального давления воздуха, взятого при 0 °С.

Здесь можно сократить время демонстрации, если учесть указания к предыдущему опыту.

ОПЫТ 61. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ОБЪЕМОМ, ДАВЛЕНИЕМ И ТЕМПЕРАТУРОЙ ГАЗА

Оборудование: 1) цилиндр переменного объема, 2) манометр демонстрационный закрытый со шкалой 0—1,6 ат, 3) гальванометр демонстрационный М1032 с термопарой, 4) банка стеклянная, 5) кастрюля с горячей водой, 6) брусок-подставка, 7) резиновая трубка.

Собирают установку по рисунку 2-20 к опыту 59, но без парообразователя. Закрывают свободный кран у манометра (он показывает 1 ат) и, не наливая сначала воду в банку, измеряют по шкале прибора объем воздуха в цилиндре, а по электрическому термометру — температуру воздуха (она равна комнатной).

Результаты измерений записывают на классной доске в таблицу, где p — давление, V — объем, T — абсолютная температура.

p	V	T	pV/T	Примечание
1	7	293	0,024	Комнатная температура
1,55	5	333	0,023	Теплая вода
0,8	9	285	0,025	Холодная вода

Затем в банку наливают теплую воду (50—60 °С) и произвольно изменяют объем воздуха в цилиндре с помощью винта. Когда цилиндр прогреется, опять измеряют объем, давление и температуру воздуха. Результаты измерений также записывают в таблицу.

Наконец, переносят цилиндр в холодную воду (приблизительно на 10 °С ниже комнатной) или меняют воду в банке. Снова произвольно изменяют объем воздуха в цилиндре и измеряют объем, давление и температуру.

Пользуясь полученными результатами, вычисляют значение выражения $\frac{pV}{T}$ для каждого состояния. Убеждаются, что все три значения мало отличаются друг от друга, несмотря на значительные изменения соответствующих параметров состояния воздуха.

ОПЫТ 62. РАЗЛИЧНАЯ УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ МЕТАЛЛОВ

Оборудование: 1) прибор Тиндаля, 2) электрическая плитка или другой нагреватель.

Перед опытом снимают со стойки прибора Тиндаля обойму с цилиндриками одинаковой массы из разных металлов: латуни, стали и алюминия (или свинца, латуни, стали и алюминия у приборов старой конструкции).

Перевертывают обойму цилиндриками вверх, следя за тем, чтобы шайбы на стержнях вошли в отверстия сбрасывающей планки и поместились между планкой и обоймой. Сдвигают планку, как показано на рисунке 2-23, и тем закрепляют стержни в этом положении. Погружают цилиндрики в жестяную ванну, прилагаемую к прибору, в которую заранее наливают кипяток.

Пока цилиндрики нагреваются в воде, на стойке устанавливают подготовленную для опыта парафиновую пластинку. Ее укрепляют ребром в специальных пазах стойки, подложив снизу жестяную кювету (рис. 2-24). Затем демонстрируют опыт.

Вынутую из кипятка обойму с цилиндриками насаживают на стойку и, сдвинув планку, сбрасывают цилиндрики на парафиновую пластинку. Цилиндрики должны стать точно посередине пластинки. Если какой-нибудь из цилиндриков немного сместится в сторону, его надо быстро поправить (рис. 2-25).

Далее следят за тем, как цилиндрики, расплавляя парафин, постепенно погружаются в

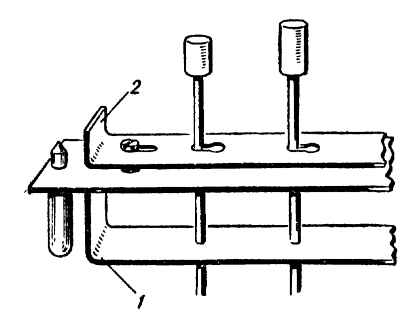


Рис. 2-23. Устройство для закрепления цилиндров в обойме: 1—обойма; 2— сбрасывающая планка.

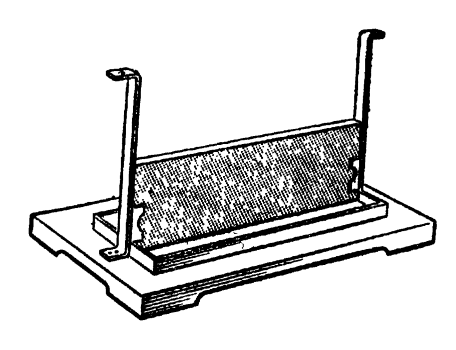


Рис. 2-24 Парафиновая пластинка в пазах стойки.

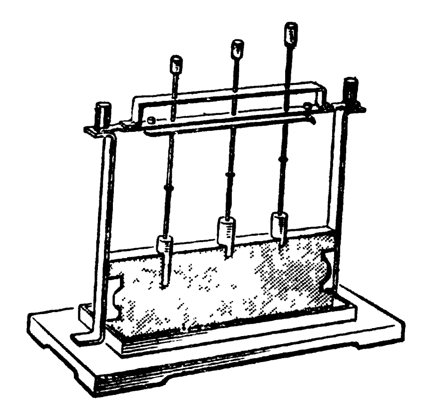


Рис. 2-25. Демонстрация удельной теплоемкости металлов.

пластинку и останавливаются, когда их температура будет несколько ниже точки плавления парафина. Различная глубина погружения цилиндриков свидетельствует о различном количестве теплоты, отданной каждым из них при остывании на одинаковое число градусов, т. е. о неодинаковой теплоемкости. Принимая во внимание, что массы у них одинаковы, можно сделать заключение: удельная теплоемкость различных металлов, из которых изготовлены цилиндрики, неодинакова.

Рассматривая таблицу удельных теплоемкостей различных металлов, можно убедиться, что глубина погружения цилиндриков хорошо согласуется с данными таблицы: наименьшая глубина погружения у свинца (удельная теплоемкость 130 Дж/(кг·К)), затем следуют латунь (400 Дж/(кг·К)), сталь (460 Дж/(кг·К)) и алюминий (880 Дж/(кг·К)).

После проведения опыта парафиновую пластинку освобождают от цилиндриков, укладывают в форму и подогревают, пока парафин не расплавится. Затем парафину дают застыть. Чтобы с новой пластинкой можно было повторить опыт, ее вынимают из формы, слегка придерживая края формы и надавливая на дно. Таких пластинок необходимо приготовить несколько, по числу классов, в которых предполагается демонстрация опыта.

ОПЫТ 63. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОДЫ

Оборудование: 1) прибор для определения удельной теплоемкости, 2) стаканчик химический с водой, 3) динамометр, 4) линейка демонстрационная, 5) гальванометр демонстрационный М1032 с термопарой, 6) штатив с двумя лапками и муфтами, 7) дрель ручная.

В этом опыте используют прибор для определения механического эквивалента теплоты. Он позволяет удобно и быстро определить механическую работу при трении и связанное с этим увеличение внутренней энергии известной массы воды в калориметре, а следовательно, найти удельную теплоемкость воды.

Демонстрацию надо показать так, чтобы она послужила подготовкой к аналогичной лабораторной работе в практикуме. Сначала показывают общий вид прибора, который состоит из двух латунных гильз, вставляемых одна в другую; втулки с рычагом для измерения силы трения и плеча; рукоятки для вращения внутренней гильзы и скобы со стержнем для укрепления прибора в штативе. Показывают, как собирается установка для выполнения лабораторной работы[1].

Затем собирают установку, на которой демонстрируют опыт (рис. 2-26). Чтобы получить достаточно большое число оборотов внутренней гильзы при небольшой затрате времени, применяют ручную дрель, у которой предварительно определяют передаточное

---

[1] См.: Практикум по физике в средней школе. Под ред А. А. Покровского. М., 1973, с. 128—130, рис. 80 и 82.

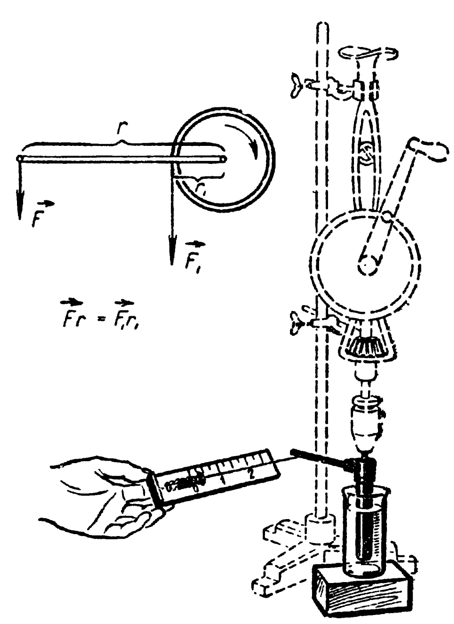


Рис. 2-26. Установка для определения удельной теплоемкости воды.

число, например 1 : 5. Дрель закрепляют в штативе с помощью двух лапок, внутреннюю гильзу прибора — в патроне дрели с помощью небольшого стерженька из материала с плохой теплопроводностью (пластмасса, дерево), который ввертывают в нарезку гильзы вместо рукоятки.

Под гильзы прибора подставляют стаканчик, в который наливают, например, 60 г воды. Гильзы должны быть полностью погружены в воду.

После этого показывают, как следует измерять силу. Динамометром зацепляют за крючок на рычаге прибора и равномерно вращают рукоятку дрели. Делают 3—5 оборотов и отмечают силу, например 1,5 Н. Если стрелка динамометра колеблется, берут среднее значение из показаний.

Затем убирают динамометр и с помощью электрического термометра измеряют начальную температуру t_1 воды. Для этого помещают в стаканчик термопару и, помешивая воду, возможно точнее определяют температуру в начале опыта (с точностью до 0,1 °С).

После этого делают, например, 200 оборотов рукояткой дрели (1000 оборотов гильзы) и опять возможно точнее определяют температуру t_2. Обращают внимание учащихся, что температуру в конце опыта надо отмечать наибольшую, т. е. когда прекратится ее дальнейшее повышение.

Когда опыт проделан и все измерения выполнены, подсчитывают работу

$$A = 2\pi r\vec{F}n$$

и увеличение внутренней энергии воды

$$\Delta U = mc\,\Delta t,$$

где r — плечо рычага на втулке, отсчитываемое от центра вращения до места прикрепления динамометра (10 см), $\vec{F}$ — сила, измеренная динамометром (1,5 Н), n — число оборотов гильзы (1000 оборотов), m — масса воды (60 г), $\Delta t = t_2 - t_1$ — разность температур (18,7 °С — 15 °С). Откуда удельная теплоемкость

$$c = \frac{2\pi r\vec{F}n}{m\,(t_2 - t_1)} = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

В данном опыте не учитывается нагревание стаканчика и гильз. Однако начальную температуру воды полезно брать ниже комнатной на $\Delta t/2$, чтобы уменьшить тепловые потери нагретой воды в окружающее пространство.

ОПЫТ 64. НАГРЕВАНИЕ СВИНЦА УДАРАМИ МОЛОТКА

Оборудование: 1) гальванометр демонстрационный М1032 с термопарой или микроманометр с теплоприемником, 2) наковальня малая и молоток, 3) тонкая свинцовая пластинка, 4) плотный тонкий картон.

Накрывают наковальню для теплоизоляции небольшим отрезком тонкого плотного картона или листового асбеста. На картон кладут согнутую вдвое свинцовую пластинку.

Затем берут термопару, приготовленную заранее из двух тонких проволок, и свободные концы ее соединяют с указанным выше гальванометром, как чувствительным индикатором. Можно воспользоваться и демонстрационным гальванометром Главучтехпрома, если имеется приставка для увеличения чувствительности этого прибора.

Проверяют работу собранной цепи: касаются слегка рукой термопары и обращают внимание на отклонение указателя гальванометра. После этого вставляют термопару внутрь согнутой пластинки, т. е. между ее половинками. Когда указатель гальванометра перестанет перемещаться — установка готова для демонстрации опыта.

Ударяют 2—3 раза молотком по свинцовой пластинке в том месте, где вложена термопара. Обращают внимание, что молоток не отскакивает от свинца, т. е. удары неупругие, и наблюдают небольшое отклонение указателя гальванометра от первоначального положения. Затем наносят пластинке серию легких ударов; указатель гальванометра постепенно проходит почти всю шкалу.

Оставляют пластинку свободно остывать в воздухе при комнатной температуре. Показания гальванометра постепенно уменьшаются и возвращаются к первоначальным.

Термопару для этого опыта можно применять самодельную. Две тонкие проволоки разного металла (лучше константановую и железную) плотно скручивают с одного конца и сваривают в электрической дуге, как это описано на с. 98.

В этом опыте в качестве индикатора изменения температуры можно воспользоваться школьным теплоприемником в виде плоской тонкостенной металлической коробки, плотно соединенной резиновой трубкой с чувствительным микроманометром (рис. 2-27).

Стрелку микроманометра переводят на нуль шкалы и на теплоприемник, обращенный черной стороной вверх, кладут свинцовую пластинку. Обращают внимание, что положение стрелки не изменяется.

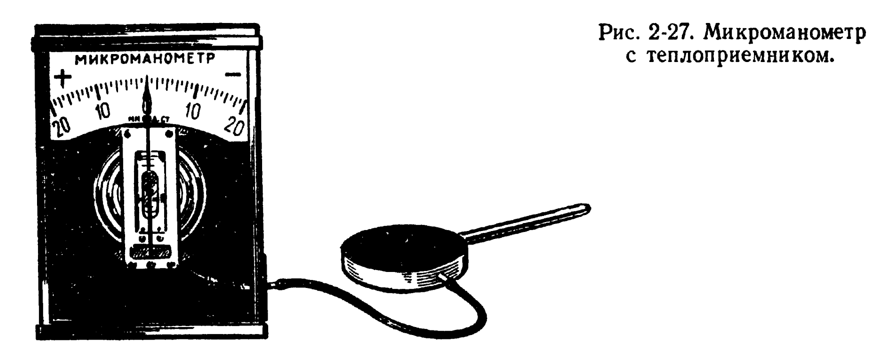


Рис. 2-27. Микроманометр с теплоприемником.

Затем пластинку снимают, подвергают быстрым ударам молотка, как было описано выше, и снова кладут на теплоприемник. Теперь стрелка микроманометра заметно перемещается, обнаруживая повышение температуры.

ОПЫТ 65. НАГРЕВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ТРУБКИ ТРЕНИЕМ

Оборудование: 1) трубка латунная, 2) основание от универсального штатива, 3) шнур, 4) эфир.

Тонкостенную латунную трубку для демонстрации нагревания, происходящего в процессе работы, прочно зажимают в основание универсального штатива. Наливают в нее 3—4 см^3 эфира и закупоривают пробкой.

Прибор устанавливают на угол демонстрационного стола. Обернув один раз вокруг трубки прочный мягкий шнур, берутся вдвоем за его концы и, придерживая руками прибор, натирают трубку шнуром (рис. 2-28; натирать необходимо быстрыми поочередными движениями, сильно натягивая шнур). Через несколько секунд эфир нагреется и закипит. Под давлением паров пробка с силой вылетит вверх.

Для успеха опыта необходимо тщательно подобрать хорошую корковую пробку. Она должна вполне герметично закрывать трубку, но сидеть в ней не слишком туго. Наилучшие условия подбираются экспериментально.

Хорошо подогнанную пробку и шнур нужно хранить вместе с прибором.

Вместо эфира можно воспользоваться спиртом, но при этом потребуется более сильное и длительное натирание.

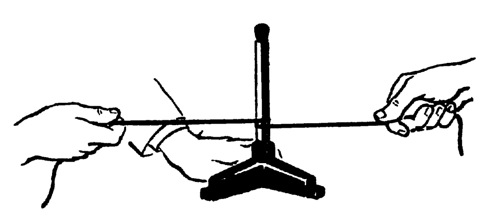


Рис. 2-28. Нагревание трубки трением.

Установку описанного опыта можно изменить, приблизив ее к той, какую часто помещают в учебниках. Трубку зажимают в центробежную машину и сравнительно быстро вращают. Трение создают полоской сукна, которой охватывается трубка. Свободные концы полоски держат в руке и, сжимая их больше или меньше, регулируют трение.

ОПЫТ 66. НАГРЕВАНИЕ СТЕРЖНЯ ПРИ ЕГО РАСТЯЖЕНИИ

Оборудование: 1) гидравлический пресс с приспособлением для растяжения, 2) стержень металлический, 3) гальванометр демонстрационный М1032 с термопарой.

На металлический стержень, прилагаемый для разрыва к гидравлическому прессу, надевают сверху через утолщенную головку небольшое упругое резиновое колечко. Закрепляют стержень в приспособлении для растяжения, устройство которого понятно из рисунка 2-29. Ставят приспособление на пресс и растягивают стержень до появления едва заметной перемычки — шейки (рис. 2-30).

Как только обозначится шейка, растяжение прекращают. На шейку надвигают резиновое колечко, под которое подсовывают термопару, соединенную с указанным выше гальванометром. Спай термопары должен плотно прилегать к стержню, как это показано отдельно от установки на рисунке 2-31. В таком

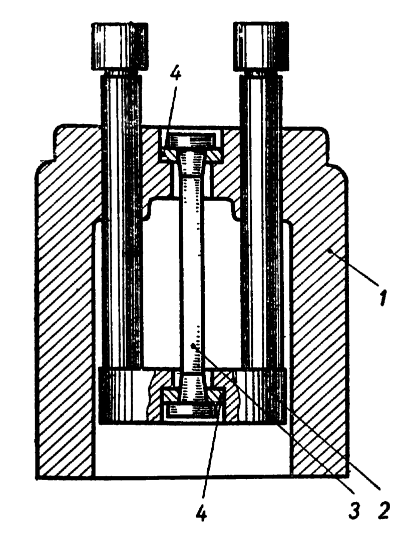


Рис. 2-29. Приспособление для разрывания стержня:

1 — корпус; *2* — подвижная платформа с двумя стойками; *3* — разрываемый стержень; *4* — кольца с прорезями.

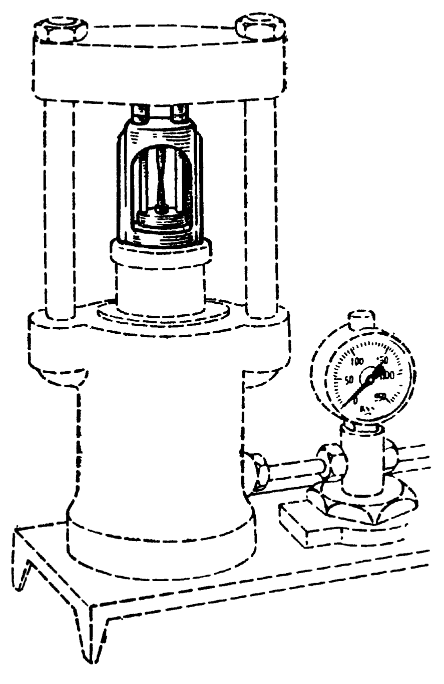


Рис. 2-30. Образование шейки у металлического стержня.

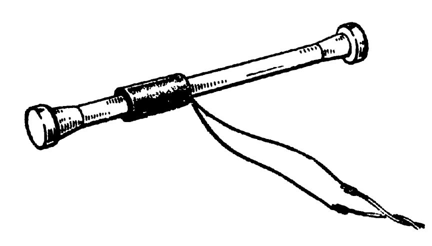


Рис. 2-31. Стержень с резиновым кольцом и термопарой.

виде установку можно считать подготовленной для демонстрации опыта, который заключается в следующем.

Сначала учащиеся тщательно замечают по шкале первоначальное показание гальванометра, когда давление прессом не производится. Затем подвергают стержень дальнейшему постепенному растяжению до его разрыва и следят за показанием гальванометра. При удлинении стержня его температура будет заметно повышаться, что свидетельствует о переходе механической энергии, затраченной на растяжение, во внутреннюю.

Этот опыт менее выразительно можно показать с эластичной толстостенной резиновой трубкой длиной приблизительно 25 см и диаметром 8—10 мм.

В тонкий прокол стенки трубки вставляют термопару и соединяют ее с указанным гальванометром. Можно применить и демонстрационный гальванометр Главучтехпрома с приспособлением для повышения чувствительности этого прибора. Один конец трубки зажимают струбцинкой за край крышки стола, а другой — берут в руку. Несколько раз быстро растягивают трубку, при этом гальванометр покажет некоторое повышение температуры.

Если учащиеся еще не были знакомы с чувствительным индикатором температуры, то им надо предварительно показать его действие. Соединить термопару с гальванометром и, нагревая ее, например, прикосновением руки, наблюдать быстрое перемещение указателя гальванометра.

ОПЫТ 67. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПРИ ЕГО СЖАТИИ И РАСШИРЕНИИ

Оборудование: 1) склянка толстостенная емкостью 3—5 л с тубусом, 2) насос ручной или Комовского, 3) осветитель малый для подсвета, 4) гальванометр демонстрационный М1032 с термопарой.

Для этого опыта подбирают толстостенную склянку с достаточно широким тубусом и горловиной. Тубус плотно закрывают резиновой пробкой, через которую пропускают небольшой стеклянный патрубок и термопару. Патрубок соединяют с насосом, а термопару — с демонстрационным гальванометром (рис. 2-32). Склянку лучше расположить на краю стола, чтобы можно было воспользоваться подсветом. Осветитель для подсвета помещают сзади и немного ниже установки.

Закрывают не очень плотно резиновой пробкой горло склянки и насосом нагнетают в нее воздух. Обращают внимание, что внутри склянки при этом никаких заметных изменений не произошло.

Указатель же гальванометра отклонился вправо от первоначального положения, обнаруживая заметное повышение температуры. Делают вывод, что при сжатии воздух нагревается, его внутренняя энергия увеличивается.

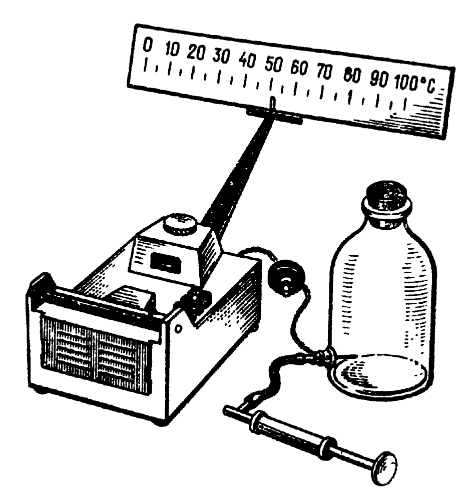


Рис. 2-32. Установка для демонстрации адиабатного процесса.

Не меняя установки, выжидают некоторое время, чтобы указатель гальванометра вернулся в исходное положение, т. е. воздух принял снова комнатную температуру. Быстро вынимают пробку из горловины. Воздух с шумом выходит наружу, и в склянке образуются водяные пары, хорошо заметные при подсвете.

Появление паров свидетельствует об охлаждении воздуха. Кроме того, замечают падение температуры и непосредственно по показаниям гальванометра. Таким образом убеждаются, что воздух, расширяясь, совершает работу и охлаждается; его внутренняя энергия становится меньше.

Вторую половину опыта можно немного изменить. Пробку не только плотно вставить в горло склянки, но и завязать крепкой нитью. После же накачивания воздуха нить сбрезать. Тогда пробка под давлением вылетит с шумом вверх и воздух будет быстро расширяться.

Очевидно, при такой постановке необходимо перед уроком путем предварительных проб установить, сколько надо делать качаний насосом, чтобы получить давление, достаточное для выбрасывания пробки. Образование паров становится особенно хорошо заметно учащимся, если перед опытом дно склянки слегка смочить водой и воспользоваться подсветом.

ОПЫТ 68. ВОЗДУШНОЕ ОГНИВО; УСТРОЙСТВО И ДЕЙСТВИЕ КОМПРЕССОРА

Оборудование: 1) воздушное огниво, 2) серный эфир, 3) вата гигроскопическая, 4) кинопроектор, 5) кинофильм «Получение и применение сжатого воздуха»[1].

Воздушное огниво представляет собой полый прозрачный цилиндр с плотно пригнанным поршнем, изготовленный из стекла или плексигласа.

[1] Получение и применение сжатого воздуха. 1 ч. (2 фрагм.). Минская киностудия научно-популярных и хроникально-документальных фильмов. 1965. Продолжительность демонстрации — 10 мин.

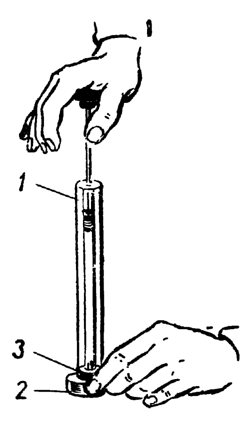


Рис. 2-33. Демонстрация опыта с воздушным огнивом:

1 — поршень; *2* — металлическая пробка с резьбой; *3* — уплотняющая прокладка.

Опыт с огнивом состоит в следующем. На дно цилиндра опускают небольшой кусочек ваты, слегка смоченной серным эфиром, и закрывают цилиндр поршнем. Затем, сосредоточив внимание учащихся на установке, резким, но не очень сильным, нажимом руки вгоняют поршень внутрь цилиндра (рис. 2-33).

Воздух при сжатии сильно нагревается, и пары эфира воспламеняются. При демонстрации опыта бывает полезно частично затемнить класс, тогда вспышка паров будет особенно отчетливо видна всем учащимся.

Иногда опыт сразу не удается. Это происходит оттого, что поршень пропускает воздух, либо оттого, что в цилиндре скопляется слишком много паров эфира. В первом случае надо смазать поршень тавотом или вазелином, а во втором тщательно продуть цилиндр, для чего бывает полезно отвернуть его дно.

Далее следует воспользоваться кинофильмом «Получение и применение сжатого воздуха» и показать его первую часть. В ней после вводного опыта, который поясняет, что сжатый воздух может производить работу, показан крупным планом внешний вид компрессорной установки. С помощью мультипликации объясняется устройство и работа компрессоров, одноступенчатого и двойного действия. Показано нагревание при сжатии воздуха и способ охлаждения компрессора. Эти кадры можно считать наиболее полезными, обучающими.

Далее в первой части показаны различные применения сжатого воздуха: пневматический шлифовальный диск, зубило, пескоструйный аппарат, аэрографический пистолет, пневматическая почта.

Вторая часть фильма вся также посвящена технике. Она перегружена многочисленными другими применениями, и ее демонстрирование на уроке становится излишним.

ОПЫТ 69. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПАРОВОЙ МАШИНЫ

Оборудование: 1) трубка латунная, 2) штатив универсальный с двумя муфтами и кольцом, 3) спиртовка.

Собирают простую установку (рис. 2-34). В металлическую трубку, которая применялась в опыте 65, наливают 3—4 см^3 воды и туго закрывают резиновой или корковой пропарафиненной пробкой. Трубку закрепляют в муфте штатива в несколько наклонном положении, чтобы вода в ней оказалась не на дне, а расположилась вдоль боковой стенки для удобства нагревания. Под трубку на металлическом кольце штатива ставят спиртовку и подбирают

наиболее подходящую высоту ее расположения: пламя спиртовки должно касаться трубки.

Перед опытом располагают установку так, чтобы трубка была направлена вдоль демонстрационного стола, и, сосредоточив внимание учащихся на приборе, зажигают спиртовку.

Через некоторое время вода в трубке нагреется выше 100 °С, давление пара сильно возрастет и пробка с шумом вылетит из трубки. Этот опыт показывает переход внутренней энергии пара в механическую, как в паровой машине.

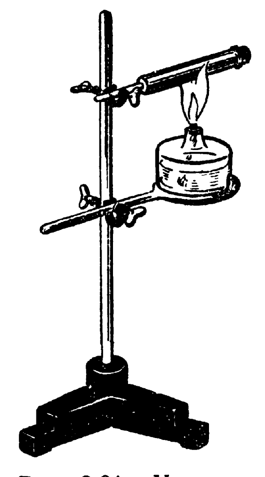


Рис. 2-34. Установка для демонстрации работы пара.

ОПЫТ 70. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Оборудование: 1) цилиндр для демонстрации упругости воздуха (спирометр) с ввернутой в него автомобильной свечой, 2) электрофорная машина или высоковольтный преобразователь «Разряд-1», 3) кинематическая модель-разрез ДВС, 4) батарея аккумуляторов 3НКН-10, 5) провода соединительные — 2 шт., 6) бензин авиационный Б-70, 7) пипетка.

Для демонстрации взрыва горючей смеси в цилиндре и механической работы, которая производится за счет части энергии, выделяющейся при сгорании топлива, собирают установку (рис. 2-35). Чугунный цилиндр с ввернутой в него запальной электрической свечой соединяют с источником высокого напряжения: один провод

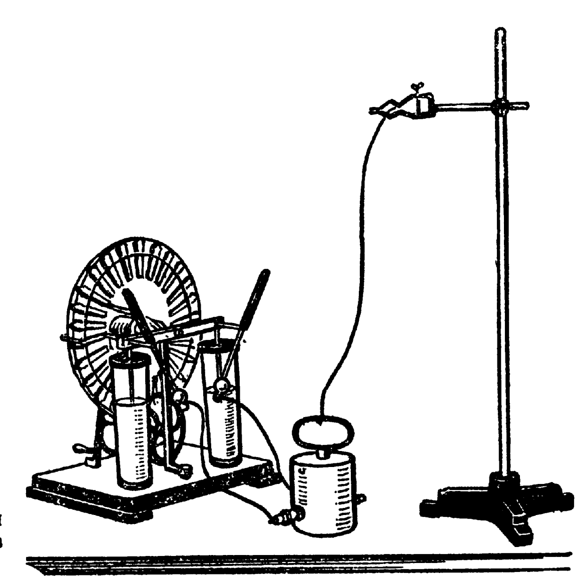
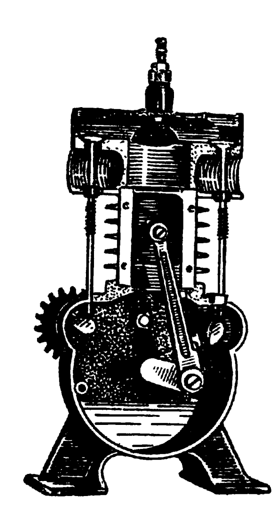


Рис. 2-35. Демонстрация взрыва горючей смеси в чугунном цилиндре.


Рис. 2-36. Модель двигателя внутреннего сгорания.

подводится к винтовому зажиму свечи, а другой — к корпусу цилиндра. Источниками питания могут быть электрофорная машина или высоковольтный преобразователь. При этом цилиндр слегка наклоняют в сторону, противоположную классу, подложив под него небольшой клинышек. Чтобы поршень не ударялся о стол, к нему привязывают прочный шнурок, зажатый в лапке штатива, который закрепляют на столе струбцинкой.

Вынув поршень, вводят в цилиндр с помощью пипетки 5—6 капель авиационного бензина. Закрывают цилиндр поршнем так, чтобы последний доходил до корпуса свечи, ввернутой почти у дна цилиндра, и образовал в нем подобие камеры сгорания.

После этого включают напряжение. Между электродами свечи (искровой промежуток 6—7 мм) образуется искра. Горючая смесь взрывается, и поршень вылетает из цилиндра.

Перед началом опыта полезно показать учащимся образование искры в цилиндре. Для этого повертывают цилиндр открытым концом в сторону класса и несколько раз включают и выключают источник напряжения.

После такой вступительной демонстрации переходят к объяснению устройства и действия четырехтактного двигателя внутреннего сгорания по модели, выпускаемой Главучтехпромом (рис. 2-36). Иллюстрируют на модели момент воспламенения горючей смеси, который является началом рабочего такта. Для этого вверху модели над поршнем укреплен патрон с маловольтной электрической лампочкой, которая соединяется с двумя зажимами, расположенными с обратной стороны прибора на его корпусе.

Присоединив к зажимам источник тока (батарейка от карманного фонаря или аккумулятора) и вращая ручку модели, можно наблюдать, что в начале такта «рабочий ход» электрическая цепь замыкается и лампочка вспыхивает, имитируя момент воспламенения горючей смеси.

При объяснении устройства и действия двигателя внутреннего сгорания полезно показать кинофильм на эту тему[1]. В фильме кратко дается представление о полезных машинах, которые приводятся в действие двигателями внутреннего сгорания. Затем рассматривается принцип действия такого двигателя и его работа. Показывается устройство карбюратора, последовательность тактов, преобразование прямолинейного движения поршня во вращатель-

---

[1] Двигатель внутреннего сгорания. 1 ч. Киевская студия научно-популярных фильмов, 1963. Продолжительность демонстрации — 10 мин.

ное. Раскрывается устройство системы охлаждения и системы смазки. Заканчивается фильм показом многоцилиндрового двигателя внутреннего сгорания большой мощности.

§ 3. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

ОПЫТ 71. МОДЕЛЬ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВ

Оборудование: 1) самодельный прибор, 2) штатив универсальный, 3) воронка стеклянная, 4) мелкие стальные шарики, 5) кювета.

В методическом пособии преподавания физики в IX классе приведен рисунок установки для опыта, моделирующего давление газа[1].

Однако воспользоваться описанной установкой, в которой применяются аэродинамические весы, сможет лишь весьма ограниченное число учителей, так как в школьных физических кабинетах таких весов нет. В свое время они были выпущены промышленностью в ограниченном количестве и давно сняты с производства.

Подобный опыт можно показать с помощью сравнительно простого самодельного прибора, предложенного в другом методическом пособии и показанного схематически на рисунке 2-37[2].

На деревянной подставке вертикально закреплены небольшая стойка и шкала. На стойке с помощью четырех осей соединены подвижно-овальная площадка *1* и стрелка, перемещающаяся по шкале. Стрелку подбирают так, чтобы она уравновешивала площадку и останавливалась на одном из делений шкалы, когда площадка не нагружена.

Перед опытом над овальной площадкой прибора помещают закрепленную на штативе воронку с мелкими стальными шариками. Воронка сверху закрыта крышкой, в центре которой вставлен через пробку стержень с конусной заточкой на одном конце.

Чтобы продемонстрировать опыт, поднимают немного стержень и дают возможность

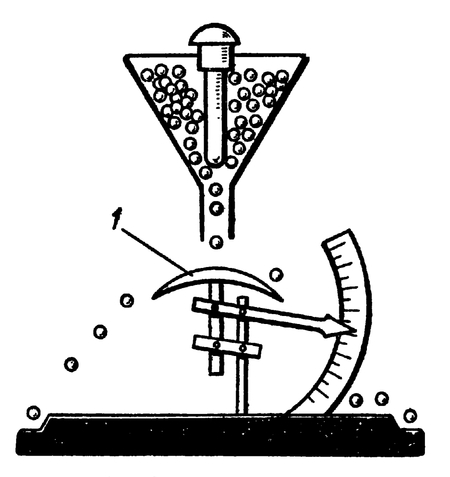


Рис. 2-37. Самодельный прибор, моделирующий давление газа.

---

[1] См.: Ванеев А. А., Корж Э. Д., Орехов В. П. Преподавание физики в IX классе по новой программе. Пособие для учителей. М., 1971, с. 37, рис. 18.

[2] См.: Зворыкин Б. С. и др. Методика преподавания физики в средней школе. Молекулярная физика. Основы электродинамики. Пособие для учителей. М., 1975, с. 29, рис. 15.

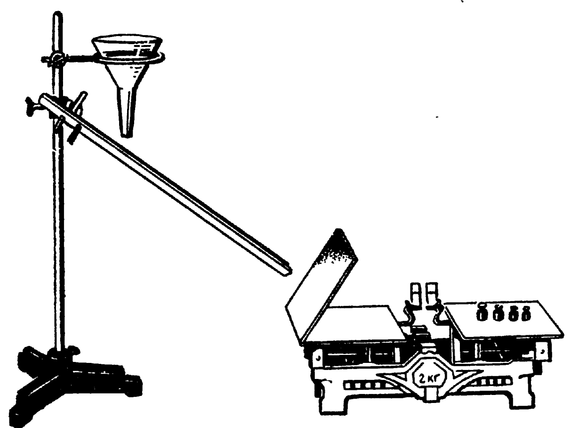


Рис. 2-38. Установка для моделирования давления газа.

шарикам проходить через отверстие воронки. Падая на площадку, они отклоняют стрелку по шкале на несколько делений.

Можно повторить опыт, подняв стержень выше. Тогда через воронку будет больше проходить шариков в единицу времени и стрелка отклонится на большее число делений.

Описанный опыт можно показать и с простой установкой, которую собирают из широко распространенных школьных физических приборов. Рядом с одной из чашек обыкновенных настольных весов (ВНО-2) ставят универсальный штатив с кольцом и небольшим закрепленным желобом так, чтобы конец желоба оказался на некоторой высоте над чашкой весов. В конце располагают стеклянную воронку для стальных шариков или свинцовой дроби (рис. 2-38).

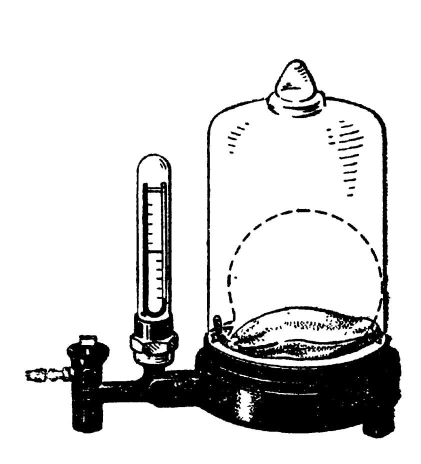
На чашке заранее закрепляют легкий, но твердый наклонный экран, чтобы шарики при ударе отскакивали от него и не оставались на весах. Если дать возможность шарикам свободно падать на хорошо уравновешенные весы, то они выйдут из равновесия и будут показывать некоторую постоянную величину, имитирующую давление, хотя шарики производят поочередные быстрые удары о чашку.

Всю установку следует располагать на большой кювете, чтобы шарики не падали на пол и их можно было быстро собрать после опыта.

ОПЫТ 72. РАЗДУВАНИЕ РЕЗИНОВОЙ КАМЕРЫ ПОД КОЛОКОЛОМ ВОЗДУШНОГО НАСОСА

Оборудование: 1) насос Комовского или ротационный с электродвигателем, 2) тарелка со стеклянным колоколом, 3) камера от футбольного мяча, 4) зажим винтовой.

Слегка надувают резиновую камеру воздухом, складывают вдвое отводную трубку и плотно зажимают ее с помощью винтового зажима. Затем кладут камеру на тарелку под колоколом так, чтобы



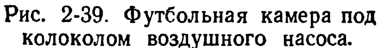


Рис. 2-39. Футбольная камера под колоколом воздушного насоса.

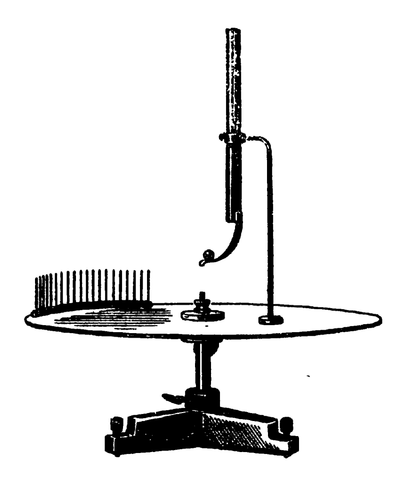


Рис. 2-40. Установка для объяснения опыта Штерна.

она не закрывала собой отверстие для выхода воздуха (рис. 2-39). Соединяют тарелку с насосом и выкачивают из-под колокола воздух. При этом камера начинает постепенно раздуваться, как показано на рисунке пунктиром.

Обращают внимание учащихся на то, что при откачивании воздуха число молекул, приходящееся на единицу объема в пространстве под колоколом, становится все меньше и, следовательно, они с меньшей силой бомбардируют стенки камеры снаружи. Внутри же камеры число молекул остается прежнее, поэтому давление на стенки становится больше наружного и камера постепенно раздувается.

Если в физическом кабинете не окажется футбольной камеры, то в этом опыте можно с успехом воспользоваться детским резиновым шаром, надувной игрушкой из тонкой резины.

ОПЫТ 73. МОДЕЛЬ ОПЫТА ШТЕРНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ ГАЗА

Оборудование: 1) вращающийся диск с принадлежностями, 2) метр демонстрационный, 3) уровень, 4) спички, 5) пластилин, 6) кинопроектор, 7) кинофильм «Молекулы и молекулярное движение».

В одном из отверстий диска, установленного по уровню, закрепляют трубку с желобком для пуска шарика так, чтобы конец желобка совпал с осью вращения диска (рис. 2-40). Затем вылепливают из пластилина узкую полоску и укладывают ее по краю диска против желобка. Вдоль полоски втыкают ряд спичек так, чтобы расстояния между ними были немного меньше диаметра шарика. На этом заканчивается подготовка установки.

Пускают из центра диска шарик и замечают место, куда он попадает на барьере. Затем приводят диск в равномерное вращение с определенным числом оборотов в секунду, которое отмечают по маятниковому тахометру, и снова пускают шарик. Останавливают диск и убеждаются, что теперь шарик попал в другое место барьера.

Очевидно, расстояние s, на которое сместился в этом опыте шарик, и радиус r диска можно измерить непосредственно; скорость v вращения диска на его ободе легко вычислить, зная радиус r и число оборотов в секунду. Отсюда можно определить и скорость u движения шарика вдоль радиуса диска, считая это движение равномерным. Так как время движения шарика по радиусу и время поворота диска на расстояние смещения равны между собой, то

$$\frac{r}{u} = \frac{s}{v}.$$

Следовательно, скорость шарика

$$u = \frac{rv}{s}.$$

По аналогии с этой механической моделью легко объяснить опыт Штерна, недоступный для демонстрации в средней школе. На классной доске вычерчивают разрез прибора, состоящего из двух вставленных один в другой цилиндров, из которых удален воздух (рис. 2-41). В центре узкого цилиндра, имеющего щель вдоль образующей, помещена перпендикулярно плоскости чертежа тонкая платиновая проволока, покрытая слоем серебра. Ось вращения прибора совпадает с осью проволоки.

Если через проволоку пропускать электрический ток, то молекулы серебра с накаленной проволоки будут распыляться во все стороны. Большинство из них оседает на внутренней поверхности узкого цилиндра. Часть же через щель проходит дальше и попадает на широкий цилиндр, образуя заметную на глаз полоску напыления. Когда весь прибор приводят в равномерное вращение, полоса напыления серебра смещается так же, как смещалось место, куда попадал шарик в описанной выше механической модели.

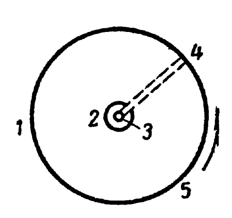


Рис. 2-41. Схема опыта Штерна:
1 и *2* — внешний и внутренний цилиндры; *3* — накаленная проволока; *4* и *5* — места оседания молекул при неподвижных и вращающихся цилиндрах.

Далее демонстрируют третий фрагмент кинофильма «Молекулы и молекулярное движение», где раскрывается идея опыта Штерна на установке для определения скорости пули. Затем показывается устройство прибора Штерна, рассматривается принцип определения скорости молекул серебра и дается кривая распределения скоростей с пояснениями к ней. В конце фрагмента разъясняется, как определять давление газа, зная скорости движения молекул.

ОПЫТ 74. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Оборудование: 1) доска Гальтона, 2) мелкие стальные шарики, свинцовая дробь или горох в стакане, 3) кинопроектор, 4) кинофильм «Молекулы и молекулярное движение».

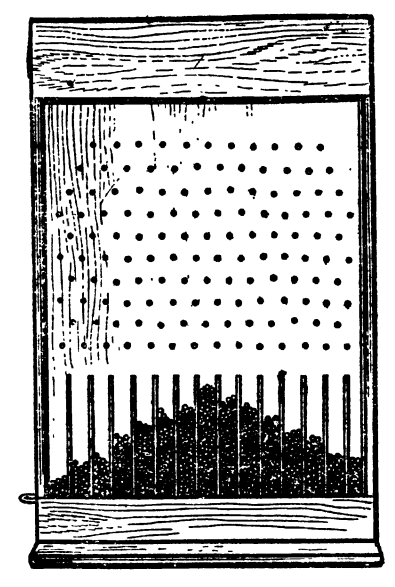


Рис. 2-42. Доска Гальтона.

Наглядной механической моделью статистической закономерности распределения может служить опыт с доской Гальтона. Этот простой прибор, показанный на рисунке 2-42, промышленностью не выпускается и предназначен для самодельного изготовления в школьных условиях.

Из гладкой ровной фанеры изготавливают открытую коробку размером не менее 30×40 см (развернутый лист писчей бумаги) и глубиной около 2 см. Дно внутри коробки покрывают белой краской или оклеивают белой бумагой. Снизу коробки, как показано на рисунке, делают из картона или другого материала 11—13 одинаковых отсеков (закромов) прямоугольной формы. Высота отсеков должна быть приблизительно равна $\frac{1}{3}$ части высоты коробки. В остальную часть дна коробки прочно вкалывают в шахматном порядке около 100 толстых булавок или вбивают столько же небольших тонких гвоздей.

В верхней планке делают отверстие, в которое вставляют стеклянную воронку или картонный скат для стальных мелких шариков, дроби или гороха, а внизу делают второе выдвижное дно, которое дает возможность быстро высыпать шарики для повторения опыта. После этого коробку плотно закрывают крышкой из прозрачного материала, чтобы хорошо были видны все отсеки и падающие в них шарики.

Демонстрация состоит в следующем. В воронку вертикально расположенного прибора сначала опускают какой-либо один шарик и наблюдают, как, падая, он сталкивается со многими гвоздями и совершенно случайно попадает в тот или иной отсек. Затем поочередно пускают еще 2—3 шарика и убеждаются, что, несмотря на одинаковые условия, эти одиночные шарики попадают совсем в другие, случайные отсеки. Наконец, в воронку всыпают горсть одинаковых шариков и предоставляют им возможность поочередно падать в отсеки сквозь заслон гвоздей.

В результате оказывается, что шарики в отсеках размещаются

неравномерно и в то же время не случайно. Процесс будет подчиняться статистическому закону распределения: больше всего шариков окажется в среднем отсеке, а в других — шариков будет тем меньше, чем отсек отстоит дальше от середины, но расположение их будет симметрично.

Замечают полученное распределение и, повторив опыт, наблюдают, что картина распределения остается прежней. Это совсем не означает, что в каждый отсек попали те же шарики, которые были в нем раньше. В обратном можно легко убедиться, если предварительно окрасить несколько шариков и проследить за их расположением после первого и второго опыта.

В заключение можно продемонстрировать из кинофильма «Молекулы и молекулярное движение» вторую половину из второго фрагмента. В ней показывается несколько разных опытов с доской Гальтона, причем каждый раз наблюдается одно и то же размещение шариков по ячейкам-отсекам, что подтверждает статистический закон распределения.

§ 4. ВЗАИМНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

ОПЫТ 75. ИСПАРЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Оборудование: 1) пипетка, 2) эфир серный, 3) спирт, 4) вода, 5) лист белой фильтровальной бумаги, 6) пластилин.

Цель опыта — показать различную скорость испарения разных жидкостей. Для этого на классную доску прикрепляют пластилином лист чистой белой фильтровальной бумаги.

На бумагу с помощью пипетки наносят сверху в разных местах капли исследуемой жидкости. Капли образуют на бумаге отдельные темные пятна, которые хорошо заметны всем учащимся в отраженном свете. Капли удобнее наносить в следующем порядке: вода, спирт, эфир.

Обращают внимание учащихся на то, как быстро испаряется эфир, затем постепенно исчезает пятно спирта и, наконец, становится незаметным и пятно воды. Опыт продолжается приблизительно 3—4 мин. Время опыта можно сократить, если обмахивать лист с пятнами картоном или обдувать настольным вентилятором.

ОПЫТ 76. ВЫДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНОГО ПАРА

Оборудование: 1) термометр электрический, 2) парообразователь с сухопарником, 3) электрическая плитка или керогаз, 4) штатив универсальный, 5) стакан химический на 100 мл, 6) кружка с горячей водой, 7) стеклянная палочка.

Для получения сухого пара в данном опыте удобно воспользоваться парообразователем и сухопарником. Установку надо собрать, как показано на рисунке 2-43.

Пока происходит нагревание воды до кипения, подготавлива-

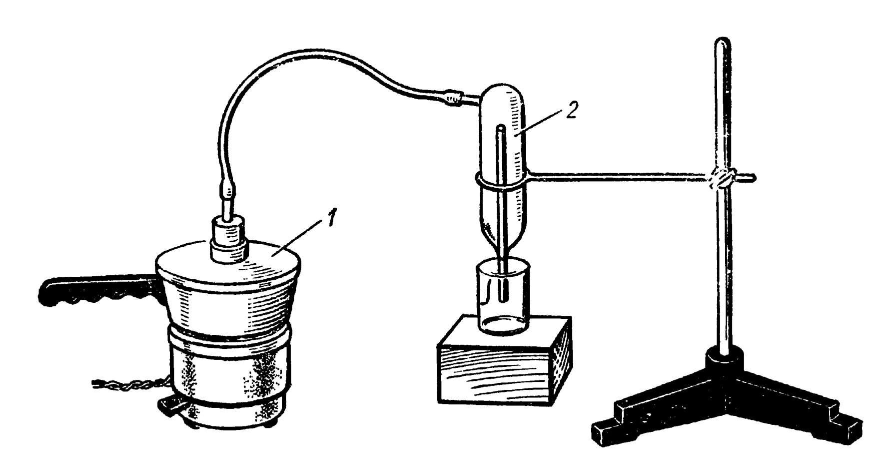


Рис. 2-43. Нагревание воды в стакане при конденсации пара:
1 — парообразователи; *2* — сухопарник.

ют химический стакан. Снаружи к его стенке приклеивают любым клеем бумажную полоску, наливают в стакан 80—90 мл воды и на полоске отмечают чернилами или цветным карандашом ее начальный уровень. Затем измеряют электрическим термометром начальную температуру воды.

Когда из сухопарника пойдет пар, выводной патрубок опускают в стакан с водой. Наблюдают, как пузырьки пара тотчас исчезают в воде, не поднимаясь на поверхность: пар, попав в холодную воду, конденсируется. Измеряя несколько раз температуру воды в стакане, убеждаются в ее быстром нагревании.

Когда температура воды поднимется на 30—40 °С выше первоначальной, сухопарник вынимают из стакана и нагревание прекращают. Обращают внимание учащихся на то, что уровень воды в стакане поднялся за счет сконденсированного пара. Новый уровень отмечают на бумажной полоске.

Снова повторяют опыт. Наливают в стакан воду до первой отметки и измеряют ее температуру. Затем наливают в стакан столько кипятка, чтобы уровень воды в нем поднялся до второй отметки. Перемешивают воду в стакане и убеждаются, что температура поднялась всего на 4—5°. Значит, нагревание воды в стакане в первом случае произошло в основном не от воды, полученной из пара и имеющей первоначальную температуру 100 °С, а главным образом за счет теплоты парообразования.

Простым расчетом можно приблизительно подтвердить результаты опыта.

ОПЫТ 77. СВОЙСТВА НАСЫЩАЮЩИХ ПАРОВ

Оборудование: 1) прибор для изучения насыщающих паров, 2) манометр демонстрационный закрытый со шкалой 0—1,6 ат, 3) вакуум-насос Комовского или ротационный, 4) серный эфир, 5) кружка с теплой водой.

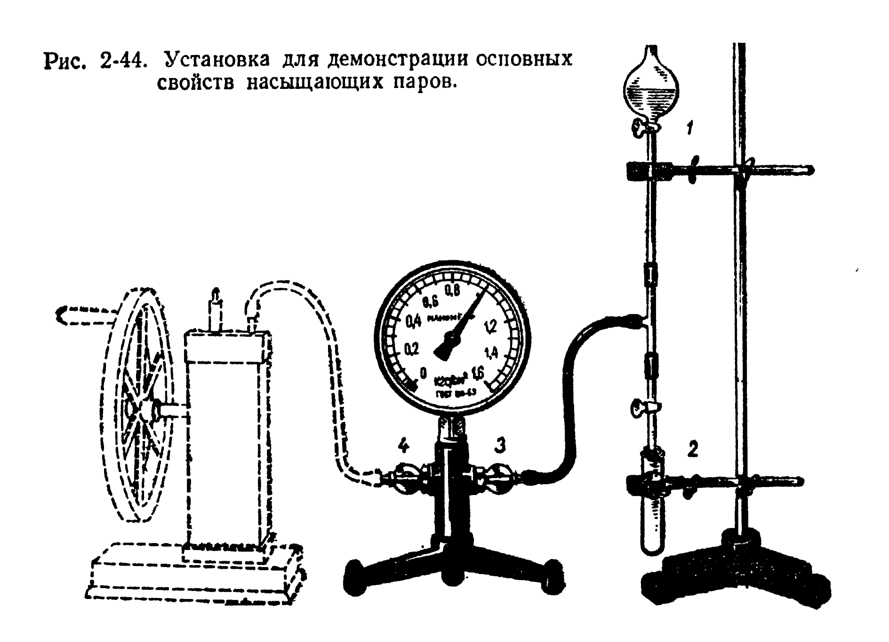


Рис. 2-44. Установка для демонстрации основных свойств насыщающих паров.

На универсальном штативе собирают прибор (рис. 2-44, справа): воронку с краном *1*, стеклянный кран *2* с резиновой пробкой, пробирку и тройник[1]. Чтобы убедиться в герметичности прибора, соединяют его через демонстрационный манометр с воздушным насосом, как показано на рисунке, закрывают кран *1* и выкачивают воздух.

Когда стрелка манометра установится почти на нуле шкалы, кран *4* закрывают, откачку прекращают и в течение нескольких минут следят за манометром. Если его показания не изменяются (установка подготовлена нормально), переходят к демонстрации опытов.

1. Закрывают кран *2* (при закрытых кранах *1* и *4*) и наливают в воронку серный эфир. Быстрым поворотом крана *1* на 180° вводят в трубку прибора немного эфира. Обращают внимание учащихся на то, что эфир полностью испаряется и манометр показывает некоторое давление ненасыщающих паров.

Таким приемом вводят еще несколько порций эфира, пока в трубке над краном *2* не появится жидкость и пары станут насыщающими. Подчеркивают, что теперь вновь введенная порция эфира никак не изменяет показаний манометра: давление насыщающих паров данной жидкости при неизменной температуре есть величина постоянная.

2. Открывают кран *2* и выпускают эфир в пробирку.Обращают

[1] Впервые такая установка была предложена В. И. Масловским. См.: «Физика в школе», 1963, № 6, с. 66—69.

внимание, что при этом объем насыщающих паров значительно увеличился, однако показания манометра не изменились. Они останутся неизменными и после того, если уменьшить объем добавлением эфира в пробирке. Делают вывод: давление насыщающих паров не зависит от изменения их объема.

3. Подставляют под пробирку стакан с холодной водой или охлаждают пробирку испарением эфира. Показания манометра постепенно уменьшаются. Затем под пробирку подставляют теплую воду (30—35 °С) и наблюдают быстрое повышение давления. Таким образом убеждаются в зависимости давления насыщающих паров от температуры.

4. Наконец, полезно экспериментально убедиться, что давление насыщающих паров зависит от рода вещества. Для этого надо иметь другой такой же прибор и вместо эфира воспользоваться бензином. Оказывается, при одной и той же температуре давление насыщающих паров бензина заметно меньше, чем давление насыщающих паров эфира.

Успех описанных опытов в значительной мере зависит от герметичности установки. Поэтому надо обратить внимание на тщательность сборки прибора: надежность соединений резиновых перемычек с тройником, резиновой пробки с пробиркой и т. п. Если притирка кранов недостаточна и они пропускают воздух, то их надо смазать техническим вазелином или ланолином.

Вместо закрытого демонстрационного манометра, показанного на рисунке, в этом опыте можно с меньшей наглядностью воспользоваться и открытым демонстрационным манометром, рассчитанным на 6 ат (см. рис. 2-3). Чтобы им можно было измерять разрежение, стрелку надо снять с оси (она держится на трении) и переставить с нуля шкалы на единицу.

ОПЫТ 78. ПЕРЕХОД НЕНАСЫЩАЮЩИХ ПАРОВ В НАСЫЩАЮЩИЕ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ОБЪЕМА

Оборудование: 1) прибор для насыщающих паров, 2) манометр демонстрационный со шкалой 0—1,6 ат, 3) насос воздушный ручной, 4) ампула с хлористым этилом, 5) резиновая трубка к насосу.

Собирают установку по рисунку 2-19, проверяют надежность соединений и проводят предварительную подготовку. Для этого накачивают в колбу воздух так, чтобы подкрашенная вода заняла полностью всю бюретку, и закрывают правый кран манометра. В течение 1—2 мин уровень воды в бюретке не должен падать.

Затем надежно закрывают зажим вверху бюретки и присоединяют к ней ампулу с хлористым этилом.

Хлористый этил — легко испаряющаяся прозрачная, бесцветная жидкость, которая имеет точку кипения 12,5 °С при нормальном давлении. Выпускается хлористый этил в небольших стеклянных запаянных ампулах и продается в аптеках для медицинских целей. Давление насыщающих паров внутри ампулы около 1,4 ат

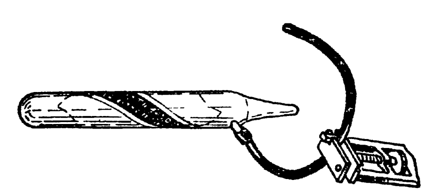


Рис. 2-45. Ампула с хлористым этилом, подготовленная к работе.

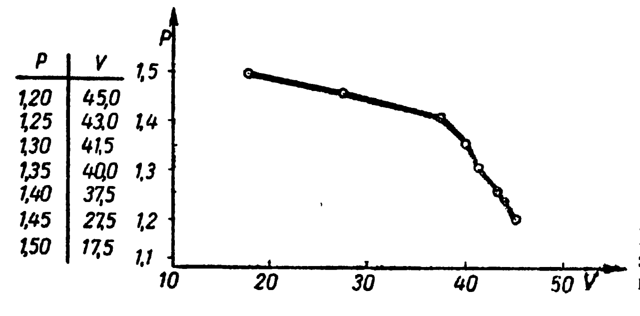
при комнатной температуре. У ампулы срезают верхний кончик отростка и на его оставшуюся часть надевают тонкую резиновую трубку с винтовым или пружинящим зажимом (рис. 2-45).

После присоединения ампулы с хлористым этилом к бюретке открывают зажим сначала у ампулы. Затем приоткрывают зажим у бюретки. Так как при комнатной температуре давление паров в ампуле больше атмосферного, то они будут постепенно вытеснять воду и заполнять освободившееся пространство. Когда уровень воды опустится до 40—45-го деления шкалы, зажимы надежно закрывают и ампулу убирают. Теперь прибор подготовлен для выполнения опыта.

Замечают по манометру и записывают начальное давление (в нашем опыте — 1,2 ат), а по делениям линейки — начальный объем ненасыщающих паров хлористого этила в условных единицах (45 ед.). Затем насосом постепенно увеличивают давление и через каждые 0,05 ат измеряют соответствующие объемы.

По полученным числовым результатам наблюдений вычерчивают график на классной доске (рис. 2-46). График наглядно показывает, что в начале опыта и до объема 37,5 ед. в бюретке были ненасыщающие пары; их объем изменялся обратно пропорционально производимому давлению. Далее же пары перешли в насыщающие; у них при значительном изменении объема давление остается почти неизменным, на что и обращают внимание учащихся.

Следует иметь в виду, что в этом демонстрационном опыте нельзя ожидать более точных результатов по ряду причин: при сравнительно быстром изменении объема изменяется температура и процесс перестает быть изотермическим; не принимается во внимание давление насыщающих паров воды, которые во время опыта находятся в бюретке вместе с парами хлористого этила; при измерении



P	V
1,20	45,0
1,25	43,0
1,30	41,5
1,35	40,0
1,40	37,5
1,45	27,5
1,50	17,5

Рис. 2-46. График зависимости объема паров от давления.

давления манометром не учитывается дополнительное давление, создаваемое столбом воды. Но и при этих условиях опыт протекает достаточно убедительно, о чем свидетельствует приведенный выше график.

Следует отметить, что хлористого этила из одной ампулы хватает на много опытов. Он хорошо сохраняется во вскрытой ампуле, когда на ее отросток надета резиновая трубка с зажимом. Ампулу надо положить в коробку с ватой, беречь от грубых толчков и от огня, так как пары хлористого этила легко воспламеняются.

ОПЫТ 79. КИПЕНИЕ ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ

Оборудование: 1) насос воздушный ручной с резиновой трубкой, 2) штатив универсальный с муфтой и лапкой, 3) нагреватель, 4) колба круглодонная 250—300 мл, 5) кювета для работы с жидкостями, 6) стакан химический.

Этот опыт показывают в двух вариантах: с применением вакуум-насоса, когда непосредственно выявляется изменение давления, и без насоса, путем охлаждения колбы, когда о причине изменения давления приходится догадываться, зная основные свойства насыщающих паров воды.

1. В круглодонной колбе, зажатой в лапке штатива и налитой до половины водой, нагревают воду до кипения. Затем нагреватель убирают, а колбу плотно закрывают пробкой, соединенной резиновой трубкой с воздушным насосом (рис. 2-47).

Через 1—2 мин, когда вода остынет, ручным насосом выкачивают воздух и пары воды. Давление в колбе постепенно уменьшается, и вода бурно закипает. Если прекратить выкачивание, то кипение прекращается. Таким приемом в течение 5 мин можно заставить воду кипеть несколько раз через разные промежутки времени. Опыт выразительно показывает, что с уменьшением давления вода кипит при пониженной температуре.

2. В круглодонную колбу, как в первом варианте, наливают до половины воду и нагревают ее до кипения. Затем, не снимая с

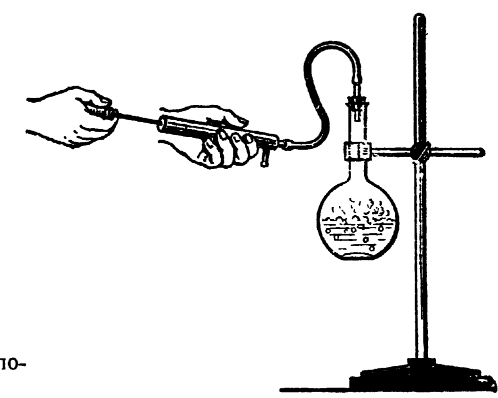


Рис. 2-47. Кипение воды при пониженном давлении.

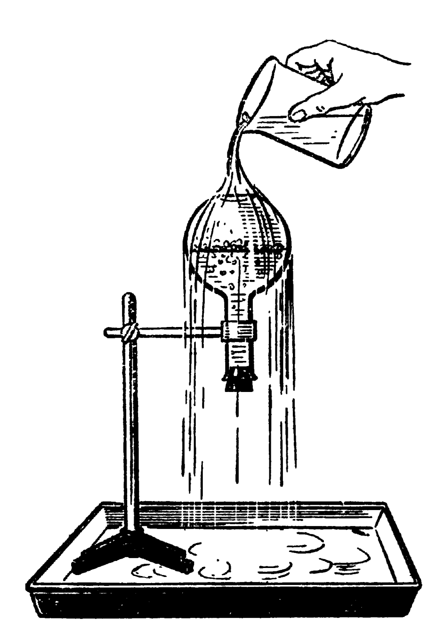


Рис. 2-48. Кипение теплой воды при охлаждении колбы.

нагревателя, быстро закрывают колбу резиновой пробкой, перевертывают горлом вниз и зажимают в лапке штатива. Под штатив с колбой подставляют кювету для работы с жидкостями (противень).

Через 1—2 мин, когда вода несколько остынет, колбу искусственно охлаждают: поливают ее холодной водой (рис. 2-48), накрывают сверху мокрым полотенцем или кладут на нее снег. При этом давление насыщающих паров в колбе понижается и вода бурно закипает. Оставляют колбу остывать еще 3—5 мин и снова повторяют опыт. Таким образом, можно заставить воду кипеть даже при комнатной температуре.

Очевидно, второй вариант опыта надо ставить как экспериментальную задачу качественного характера. Учащиеся должны сами объяснить, почему охлаждение колбы (а не нагревание) приводит к явлению кипения воды,

При постановке описанных опытов следует иметь в виду, что пользоваться насосом Комовского не рекомендуется: через масло насоса пройдет большое количество водяных паров и насос не будет давать надлежащую степень разрежения. Колбу для этих опытов надо брать круглодонную, так как плоскодонная обычно не выдерживает давления во время демонстрации. Чтобы после второго опыта вынуть из колбы пробку, которую атмосферное давление сильно вгоняет в горлышко, надо воду в колбе нагревать почти до кипения.

ОПЫТ 80. ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРЕГРЕТОГО ВОДЯНОГО ПАРА

Оборудование: 1) парообразователь лабораторный с резиновой пробкой и изогнутой стеклянной трубкой, 2) электрическая плитка, 3) спиртовка или газовая горелка, 4) подъемный столик, 5) обрезок белой жести.

Собирают установку по рисунку 2-49. В парообразователь наливают немного воды, закрывают его плотно пробкой с наклонно поставленной стеклянной трубкой, имеющей на конце петлю. Включают электроплитку. Чтобы сэкономить время, воду лучше брать горячую.

Когда из трубки будет выбивать сильная струя пара, под петлю трубки подставляют спиртовку или газовую горелку. Высоту рас-

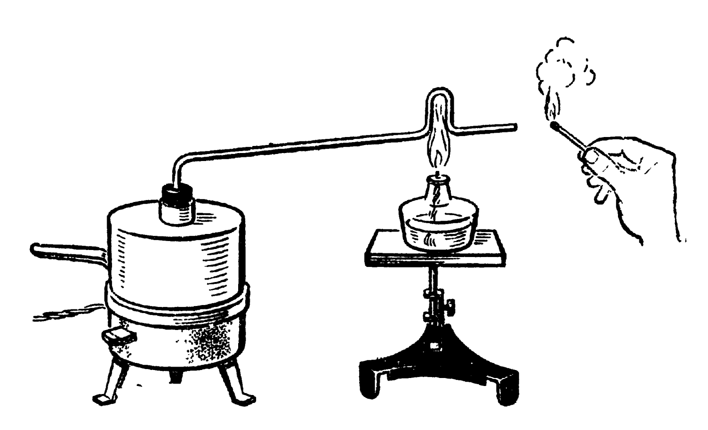


Рис. 2-49. Демонстрация перегретого водяного пара.

положения спиртовки подбирают так, чтобы пламя охватывало всю петлю и хорошо прогревало ее.

Обращают внимание учащихся, что через некоторое время водяной пар в трубке перегревается и хорошо видимая ранее струя пара становится теперь совсем незаметной. Однако можно показать, что пар продолжает выходить из трубки. Для этого к ее концу подносят какой-либо плоский металлический предмет, например обрезок белой жести, наконечник от универсального электромагнита и т. п. Пар охлаждается, конденсируется, и на подставленном предмете образуются заметные капли воды.

Далее экспериментально убеждаются в том, что перегретый пар имеет довольно высокую температуру, значительно превышающую температуру кипящей воды. К концу трубки подносят обычную спичку так, чтобы ее головка попадала в струю перегретого пара. Через некоторое время спичка вспыхивает.

Чтобы не создавалось впечатление, что спичка загорается от спиртовки, обогревающей петлю, опыт можно немного изменить: поместить спичку в струю пара, как описывалось выше, и одновременно с этим убрать спиртовку. Так как трубка была достаточно прогрета, то пар и без спиртовки продолжает некоторое время перегреваться настолько, чтобы зажечь спичку.

ОПЫТ 81. «ВОДЯНОЙ МОЛОТОК» и «ПЬЮЩИЙ УТЕНОК» (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ)

Оборудование: 1) «водяной молоток», 2) игрушка «пьющий утенок», 3) стаканчик для воды, 4) проекционный аппарат.

Эти опыты полезно ставить в классе в качестве экспериментальных задач после того, как были изучены свойства насыщающих паров. Вначале кратко описывают прибор, а затем проводят де-

монстрации и задают вопросы, на которые учащиеся должны дать ответы.

1. Рассматривают устройство «водяного молотка». Обращают внимание, что в нем находится вода и удален воздух. Переливают воду в баллон и перевертывают прибор, как показано на рисунке 2-50. Почему вода свободно переливается через узкое отверстие баллона, тогда как через воронку с таким узким отверстием, вставленную плотно в пробирку, она не проходит?

Ответ. Давление насыщающего водяного пара, заполняющего нижнюю часть прибора, не увеличивается при уменьшении объема, так как пар при этом быстро конденсируется. Иначе говоря, насыщающий пар в противоположность воздуху не обладает упругостью. Этим и объясняется демонстрируемое явление.

2. Располагают прибор баллоном вверх и, когда вода перельется вниз, быстрым движением подбрасывают ее в трубке вверх. При падении вода производит о дно трубки резкий удар со звуком, напоминающим удар твердого тела о стекло. Чем объясняется это явление?

Ответ. При подбрасывании воды внизу прибора образуется пространство, занятое насыщающим водяным паром, который во время падения воды быстро конденсируется и потому не препятствует удару.

3. Рассматривают устройство и действие «утенка» (рис. 2-51). Прибор состоит из небольшой стеклянной запаянной ампулы *1* на металлической оси *2* и жестяной стойке с подставкой *3*. Вставленная в подставку ампула может свободно качаться на оси. Нижний баллончик ампулы, внутри которого трубка доходит почти до дна, прозрачный, а верхний (голова «утенка») покрыт сверху тон-

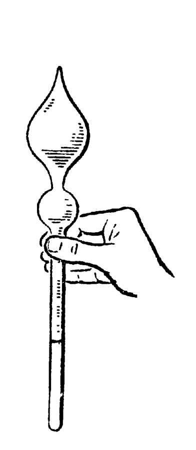


Рис. 2-50. «Водяной молоток».

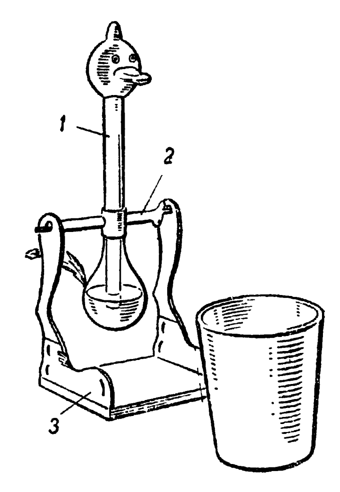
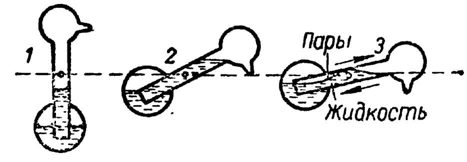


Рис. 2-51. «Пьющий утенок».

Рис. 2-52. Три положения ампулы:
1 — начальное; 2 — промежуточное; 3 — конечное.



ким слоем гигроскопической ваты. В ампулу налита легко испаряющаяся жидкость.

Приводят игрушку в действие. Наполняют небольшой стаканчик водой и ставят перед «утенком». Затем наклоняют его так, чтобы клюв опустился в воду и слой ваты на голове слегка смочился. После этого «утенок» начнет самостоятельно через небольшие промежутки времени наклоняться к воде и снова выпрямляться; он будет действовать все время, пока клюв достает до воды в стаканчике. Чтобы всем учащимся хорошо было видно установку, ее следует спроецировать на экран.

Как объяснить действие прибора?

Ответ. Испарение воды со слоя ваты на верхнем баллончике ампулы вызывает охлаждение насыщающих паров жидкости внутри баллончика; при этом значительно понижается их давление. Давление же в нижнем баллончике остается прежним, вследствие чего жидкость из нижнего баллончика по трубке вытесняется вверх (рис. 2-52). Благодаря перемещению центра тяжести ампула наклоняется сначала немного, а затем настолько, что пары из нижнего баллончика пузырьком проскакивают через трубку в верхний баллончик. Тем самым давление насыщающих паров в обоих баллончиках выравнивается, жидкость вновь стекает вниз, и ампула возвращается в начальное вертикальное положение. Далее весь цикл снова повторяется, причем каждое погружение клюва в воду сопровождается пополнением влаги, испаряющейся с головы «утенка».

Когда принцип действия прибора выяснен, можно показать, что утенок будет «пить» чаще, если обдувать его вентилятором, и что при большой влажности воздуха игрушка действовать не будет, например под колоколом воздушного насоса, где поставлен кристаллизатор с горячей водой.

При настройке прибора перед опытом следует обратить внимание на регулировку максимального наклона ампулы. Для этого служат лепестки, расположенные около ушек жестяной стойки. Они изогнуты внутрь и служат ограничителями: при некотором наклоне ампулы на эти лепестки опираются выступы оси вращения.

ОПЫТ 82. УСТРОЙСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ПСИХРОМЕТРА И ГИГРОМЕТРА

Оборудование: 1) проекционный аппарат, 2) эпидиаскоп, 3) психрометр, 4) гигрометр школьный, 5) гигрометр волосной, 6) эфир серный, 7) таблицы: психрометрическая и давления насыщающих паров воды при разных температурах.

Психрометр и гигрометры относятся к числу лабораторных приборов. Однако с целью подготовки к физическому практикуму на уроке надо познакомить учащихся с назначением и устройством этих приборов, показать, как ими следует пользоваться, и рассказать о порядке выполнения лабораторной работы. Демонстрацию приборов полезно сопровождать чертежами на классной доске и проецированием некоторых деталей на экран.

1. Снимают с нижней части психрометра предохраняющую металлическую скобу (рис. 2-53) и показывают, что прибор состоит из двух одинаковых термометров, размещенных на панели. Между термометрами закреплена стеклянная изогнутая трубка для воды, заканчивающаяся внизу небольшой воронкой. Воронка расположена под одним из термометров. Шарик этого термометра обернут марлей, конец которой опущен в воронку и, таким образом, смачивается водой. Шкалы термометров разделены на 0,5 °С.

Чтобы обеспечить длительное смачивание термометра, стеклянную трубку наполняют водой. Вода по мере испарения будет непрерывно поступать из трубки в воронку, а потом через марлю к термометру.

Обращают внимание учащихся на то, что подвешивать психрометр надо в таком месте, где имеется ток воздуха (на сквозняке). Кроме того, надо следить, чтобы вода смачивала всю марлю, охватывающую шарик термометра.

После этого, сделав отсчеты по сухому и смоченному термометрам и вычислив разность температур, показывают учащимся, как пользоваться психрометрической таблицей для нахождения относительной влажности воздуха. С этой целью психрометрическую таблицу полезно спроецировать на экран при помощи эпидиаскопа.

2. Пользуясь рисунком 2-54, рассматривают сначала устройство общеизвестного школьного гигрометра. Обращают внимание учащихся, что камера *1* защищена от полированного кольца *2* теплоизолирующей прокладкой.

Затем собирают установку по схеме, представленной на рисунке 11. Осветитель проекционного аппарата вместе с конденсором сдвигают по оптической скамье вперед. Объект, укрепленный на выдвижных направляющих стержнях, располагают под углом к оптической оси конденсора. Получают на экране изображение поверхности камеры и окружающего ее полированного кольца, которые в начале опыта оказываются одинаково и равномерно освещенными (рис. 2-55, *а*).

После этого выключают осветитель проекционного аппарата, чтобы гигрометр не перегревался, и наливают в камеру немного эфира. При помощи резиновой груши начинают продувать воздух и, включив осветитель, наблюдают на экране, как поверхность камеры постепенно покрывается налетом росы: она становится темнее светлого кольца, окружающего камеру (рис. 2-55, *б*). Затем прекращают продувание воздуха и следят за постепенным исчезновением росы.

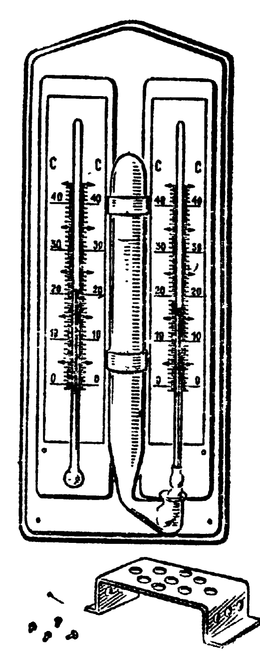


Рис. 2-53. Психрометр.

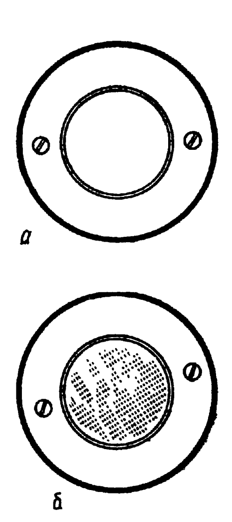


Рис. 2-55. Изображение гигрометра на экране.

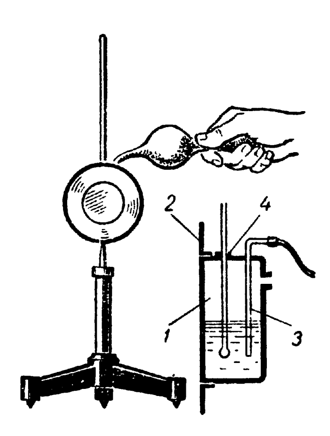


Рис. 2-54. Гигрометр школьный:

1 — камера для эфира; *2* — кольцо полированное; *3* — трубка для продувания воздуха; *4* — патрубок для термометра.

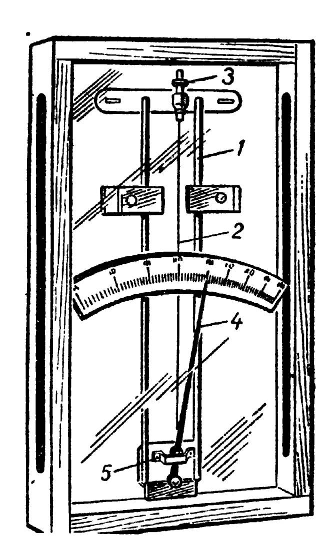


Рис. 2-56 Волосной гигрометр:

1 — металлическая рама; *2* — волос; *3* — регулировочное приспособление; *4* — стрелка; *5* — блок.

Обращают внимание учащихся, что заметить момент исчезновения налета и полного восстановления зеркальной поверхности камеры практически удобнее, чем его появление. Поэтому при выполнении лабораторной работы рекомендуется определять точку росы по исчезновению налета. В этом случае результаты получаются более точными.

Определять на уроке точку росы нет необходимости. Надо сообщить учащимся готовые данные, чтобы можно было решить в качестве примера 1—2 задачи на определение абсолютной и относительной влажности и показать, как надо пользоваться таблицей давлений насыщающих паров. Таблицу полезно спроецировать на экран с помощью эпидиаскопа.

3. Волосной гигрометр (рис. 2-56) устроен так, что не нуждается в специальных приемах демонстрирования. Между двумя металлическими стойками *1* укреплен обезжиренный человеческий волос *2*. Один конец волоса закреплен на верхнем штифте, которым можно с помощью гайки *3* регулировать натяжение волоса. Другой конец волоса нагружен небольшой гирькой и перекинут через блок *5*, на котором укреплена стрелка *4* с противовесом. При изменении влажности воздуха длина волоса изменяется, и стрелка по шкале указывает относительную влажность в процентах.

Если имеется волосной гигрометр в круглой оправе, то сначала показывают учащимся внешний вид этого прибора (рис. 2-57). Затем с помощью эпидиаскопа проецируют на экран рисунок 2-58 и рассказывают об устройстве гигрометра. Приемник влажности *1* состоит из двух пучков равномерно натянутых обезжиренных человеческих волос. Пучки соединены между собой последовательно через рычаг *2*. Изменение длины волос передается на стрелку при помощи передаточного механизма, состоящего из системы двух рычагов *2* и *3*, блока *4* и шелковой нити *5*. Пружина *6* поддерживает систему приемников и передаточного механизма в натянутом со-

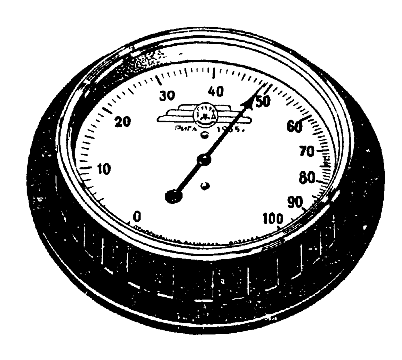


Рис. 2-57. Волосной гигрометр в круглой оправе.

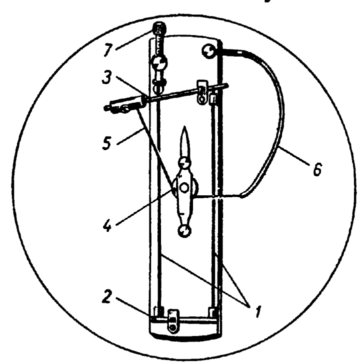


Рис. 2-58. Устройство волосного гигрометра:

1 — приемники влажности; *2* и *3* — рычаги; *4* — блок; *5* — нить; *6* — пружина; *7*—регулировочный винт.

стоянии. Шкала прибора показывает относительную влажность воздуха в процентах, причем цена каждого деления шкалы соответствует 1%.

Проверка и установка волосного гигрометра производится на основании определения относительной влажности воздуха при помощи психрометра. Поворотом регулировочного винта *3* (рис. 2-56) или *7* (рис. 2-58) устанавливают стрелку гигрометра на шкале в соответствии с полученными данными. Это надо продемонстрировать учащимся.

ОПЫТ 83. КРИТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЭФИРА

Оборудование: 1) проекционный аппарат, 2) прибор для демонстрации критического состояния эфира, 3) газовая горелка или лабораторный керогаз.

Устройство прибора Авенариуса для демонстрации критического состояния эфира ясно из рисунка 2-59. Основной деталью прибора служит ампула с таким количеством эфира, чтобы при нагревании до критической температуры давление в ней также стало критическим.

Перед опытом обычно закрепляют прибор в универсальном штативе и располагают между конденсором и объективом проекционного аппарата. Однако лучше иметь специально приспособленный самодельный столик и собирать установку, как показано на рисунке 2-60. В этом случае удается избежать излишней громоздкости и предохранить от пламени горелки стекла прибора и конденсор.

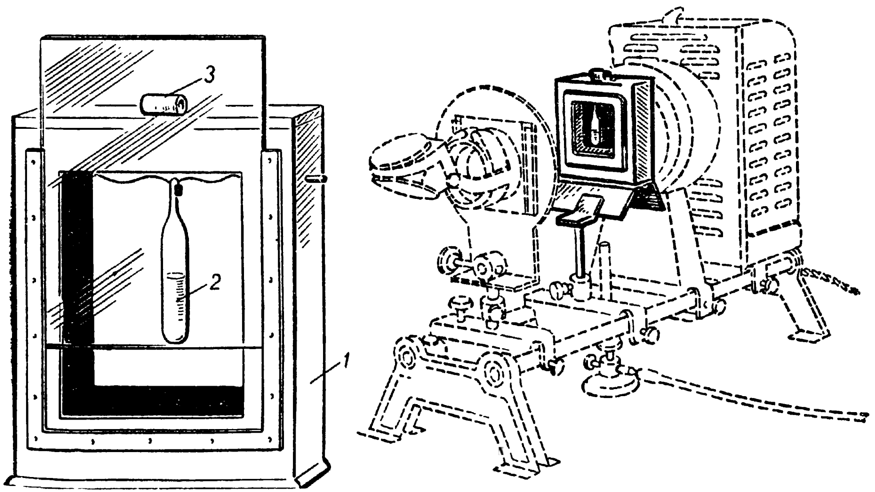


Рис. 2-59. Прибор Авенариуса: *1* — жестяная камера; *2* — ампула с эфиром; *3* — скоба для закрепления прибора.

Рис. 2-60. Установка для демонстрации критического состояния эфира.

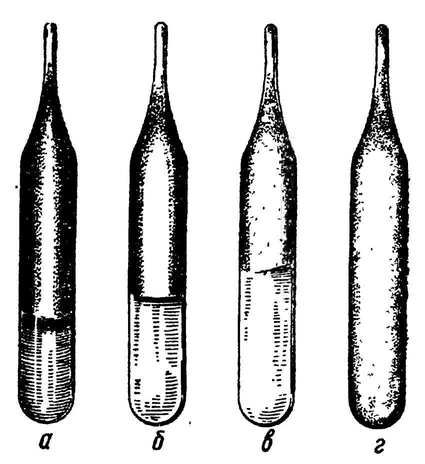


Рис. 2-61. Ампула с эфиром на различных стадиях нагревания.

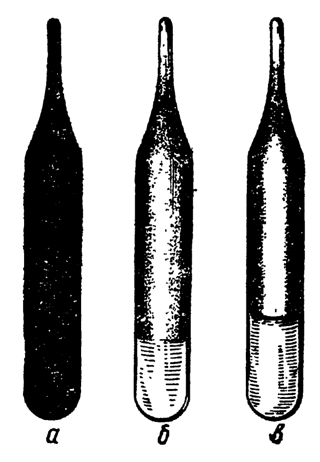


Рис. 2-62. Ампула на различных стадиях охлаждения.

С помощью объектива с оборотной призмой проецируют ампулу на экран, чтобы был отчетливо виден мениск эфира, зажигают газовую горелку или керогаз и ведут наблюдение.

По мере нагревания прибора становится заметным небольшой подъем мениска, некоторое расширение светлой полосы над эфиром и значительное «просветление» нижней части ампулы, занятой эфиром. Это объясняется тем, что плотность паров увеличивается, а плотность жидкости уменьшается. В результате уменьшается поверхностное натяжение эфира, заметно выравнивается кривизна мениска (рис. 2-61, *а*, *б*).

Далее мениск, пройдя плоское состояние, поднимается приблизительно до половины ампулы, становится расплывчатым (рис. 2-61, *в*) и, наконец, совсем исчезает. При критической температуре (193,8 °С) и выше вся ампула оказывается заполненной однородным веществом (рис. 2-61, *г*).

После этого прекращают нагревание и наблюдают на экране обратный процесс. Дают возможность прибору постепенно охлаждаться и обращают внимание на то, как в ампуле появляются и становятся хорошо заметными многочисленные, быстро сменяющиеся свили — результат наличия участков веществ разной плотности. В это время температура близка к критической и надо быть особенно внимательным, чтобы не пропустить момент перехода.

При критической температуре эфир становится пересыщенным паром и, как только в нем возникнут центры конденсации, вся ампула внезапно заполняется туманом (рис. 2-62, *а*). Затем она быстро становится опять прозрачной и на экране появляется образовавшаяся жидкость с резко выраженным мениском (рис. 2-62, *б*, *в*). На этом опыт заканчивается.

Практические указания

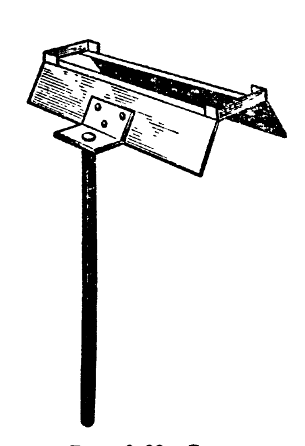


Рис. 2-63. Столбик для прибора Авенариуса и проекционной камеры.

1. В ампуле при нагревании развивается большое давление, и она может разорваться. Чтобы при этом осколки не разлетались в стороны, необходимо перед опытом закрывать окна прибора стеклами. В таком виде прибор становится совершенно безопасным для демонстрации в классе.

2. Специальный столик из жести, устройство которого понятно из рисунка 2-63, промышленностью не выпускается. Его легко изготовить самим в школьной мастерской. Окончательные размеры столика определяются размерами описанного выше прибора и проекционной кюветы (см. рис. 2-84), для которых столик и предназначается.

3. Если внутри прибора под ампулой поместить на изоляторах спираль из нихромовой проволоки (d = 0,4—0,6 мм, l = 50 см), то обогревать ампулу можно, пользуясь источником электропитания 4—6 В.

§ 5. ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ И ДРУГИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ

ОПЫТ 84. ОБНАРУЖЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ, ОБРАЗОВАНИЕ МЫЛЬНЫХ ПЛЕНОК НА КАРКАСАХ

Оборудование: 1) ареометр с надетым кружком из медной сетки, 2) стеклянный цилиндр емкостью 1 л (длина 465 мм, диаметр 65 мм), 3) два проволочных каркаса — кольцо с ниткой и «качели», 4) штатив, 5) осветитель для теневого проецирования, 6) глазная пипетка, 7) плоскопараллельная кювета или химический стакан, 8) эфир, 9) мыльный раствор.

Для обнаружения поверхностного натяжения воды пользуются ареометром (предел измерения 1,000—0,700) как поплавком. На расстоянии 6—7 см от верхнего конца на ареометр надевают кружок диаметром 30—40 мм, вырезанный из сравнительно частой (9 клеток на 1 см^2) медной сетки, и укрепляют его сверху и снизу двумя тонкими резиновыми колечками. Затем наливают воду в литровый цилиндр и опускают в него ареометр с таким расчетом, чтобы сетка плавающего ареометра находилась на 1—2 см над поверхностью воды (рис. 2-64).

Медленно погружают пальцем ареометр, чтобы сетка оказалась неглубоко под водой, и осторожно отпускают палец. Оказывается, ареометр не всплывает: поверхность воды, как бы обладая свойствами

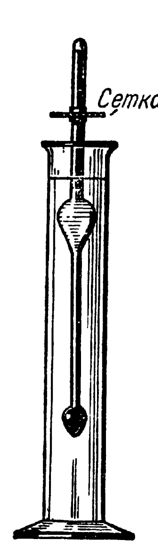


Рис. 2-64. Поплавок из ареометра.

упругой пленки, удерживает сетку, мешая ей вместе с ареометром подняться вверх в свое первоначальное положение.

Если ввести теперь с помощью глазной пипетки 2—3 капли эфира на поверхность воды, то ареометр всплывает, так как коэффициент поверхностного натяжения у эфира примерно в 4 раза меньше, чем у воды. Полезно показать, что, пока эфир не испарится, этот опыт повторить не удается.

Дальнейшее изучение явления поверхностного натяжения проводится на опытах с мыльными пленками на каркасах. Для этого подвешивают на штативе «качели», т. е. две прямые проволочки диаметром 0,3 мм и длиной приблизительно 50 мм, предварительно связанные между собой тонкими нитями, как показано на рисунке 2-65, *а*. Затем подносят снизу плоскопараллельную кювету или химический стакан с мыльным раствором, чтобы весь каркас погрузился в раствор. Медленно опускают вниз кювету и получают между проволочками и нитями сплошную мыльную пленку. Обращают внимание учащихся, что нижняя проволочка «качелей» заметно поднялась вверх, а боковые нити приняли форму дуг (рис. 2-65, *б*).

Если слегка потянуть за нижнюю нить, пленка растянется и каркас опять примет вид правильного прямоугольника. Если же нить опустить, то вследствие сокращения поверхности пленка снова примет форму, указанную на рисунке 2-65, *б*.

Заменяют «качели» каркасом в виде кольца, к которому привязана без натяжения тонкая (лучше шелковая) нитка с петелькой в средней части (рис. 2-66, *а*). Как и в предыдущем опыте, получают на поверхности кольца сплошную мыльную пленку. Затем прорывают ее, например, в правой части и опять обнаруживают значительное уменьшение поверхности пленки: нить принимает форму дуги окружности (рис. 2-66, *б*).

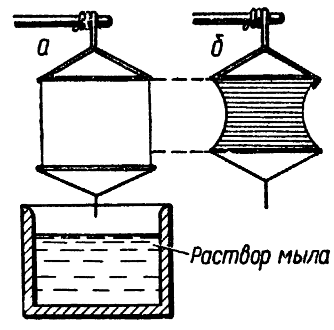


Рис. 2-65. Образование мыльной пленки.

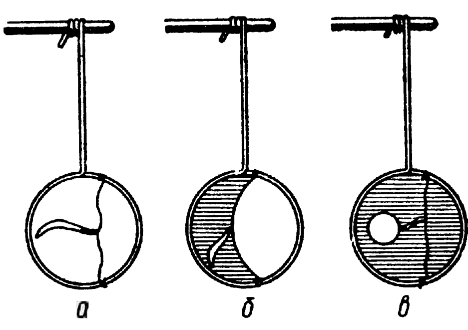


Рис. 2-66. Мыльная пленка на проволочном кольце с нитяной петелькой.

Можно повторить опыт, но прорвать пленку внутри нитяной петельки, тогда образуется правильная окружность (рис. 2-66, *в*).

Эти опыты убеждают учащихся в наличии поверхностного натяжения. Пленка во всех случаях принимает минимальную поверхность, и силы поверхностного натяжения всегда направлены перпендикулярно к любому элементу контура, ограничивающего пленку.

Опыты с пленками на каркасах удобно демонстрировать в теневой проекции. Для этого рекомендуется осветитель, показанный на рисунке 12.

ОПЫТ 85. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Оборудование: 1) проекционный динамометр чувствительный, 2) штатив, 3) проекционный аппарат, 4) плоскопараллельная кювета или химический стакан, 5) раствор мыла.

В этом опыте применяют промышленный динамометр с прозрачной шкалой, рассчитанной на 10,5 мН, ценой деления 0,5 мН, с подвешенной к нему проволочной П-образной незамкнутой петлей шириной 50 мм (рис. 2-67).

Для демонстрации опыта устанавливают динамометр с петлей вблизи конденсора проекционного аппарата и с помощью объектива с оборотной призмой проецируют прибор. На экране должны быть четко видны шкала динамометра, указатель и часть петли (рис. 2-68).

Чтобы не учитывать в дальнейшем вес петли, нужно установить указатель против нуля шкалы. Для этого придерживают пружину за верхний конец и слегка перемещают ее вверх или вниз относительно шкалы. В этом положении пружину закрепляют с помощью зажимного винта.

Затем подставляют под петлю кювету с раствором мыла так, чтобы верхняя сторона петли была погружена в раствор. При медленном опускании кюветы петля затянется сплошной мыльной пленкой и на пружину будет действовать направленная вниз сила поверхностного натяжения[1]. Эту силу легко определить по показаниям динамометра, заметным для всего класса. А зная силу, полученную в одном из таких опытов (например, 3,5 мН), и длину проволочной перекладины (5 см), легко найти коэффициент поверхностного натяжения:

$$\sigma = \frac{F}{l} = \frac{3{,}5\,\text{мН}}{2 \cdot 0{,}05\,\text{м}} = \frac{0{,}0035\,\text{Н}}{0{,}1\,\text{м}} = 3{,}5 \cdot 10^{-2}\,\text{Н/м}.$$

Повторяют опыт для какой-либо другой жидкости и находят ее коэффициент поверхностного натяжения. Обращают внимание

---

[1] Образование пленки на петле полезно проверить до проецирования прибора.

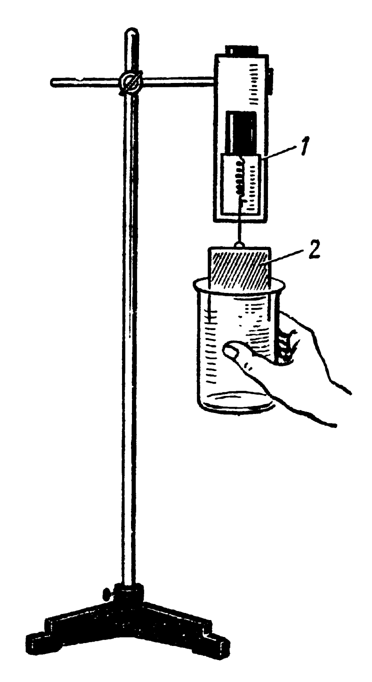


Рис. 2-67. Динамометр на штативе:
1 — динамометр; *2* — петля

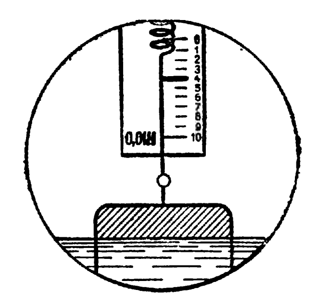


Рис. 2-68. Изображение динамометра и петли на экране.

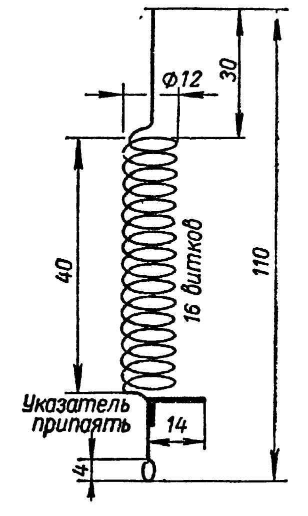


Рис. 2-69. Устройство пружины к динамометру.

учащихся, что полученные величины довольно хорошо соответствуют табличным значениям коэффициента поверхностного натяжения.

Если в школе нет описанного выше динамометра, тогда его можно изготовить самодельно. При этом очень важно выбрать достаточно тонкую и упругую проволоку. Вполне подходящей может быть стальная проволока диаметром 0,2 мм. Устройство пружины динамометра показано на рисунке 2-69.

П р и м е ч а н и е. Прозрачную шкалу динамометра можно сделать на 10 мН с ценой деления 1 мН. Градуировать шкалу можно миллиграммовыми разновесками: 1000, 500, 200 и 100.

ОПЫТ 86. ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ВОДЫ

О б о р у д о в а н и е: 1) графпроектор или проекционный аппарат с приспособлением для горизонтальной проекции, 2) кристаллизатор диаметром 8—10 см с плоским дном, 3) пипетка или стеклянная трубка, 4) эфир или бензол, 5) камфара, 6) мыло, 7) ликоподий, пиретрум или мелко натертая пробка.

Подготавливают графпроектор или проекционный аппарат для горизонтального проецирования и, чтобы проверить установку, включают ненадолго лампу. Затем в кристаллизатор наливают приблизительно до половины чистую воду, на поверхность которой насыпают ликоподий, или пиретрум, или мелко натертую пробку. Это проще всего сделать следующим образом. Взять на конец перочинного ножа немного ликоподия и подуть на него, расположив предварительно над кристаллизатором. Мелкий порошок при этом распыляется и ровным слоем ложится по всей поверхности воды.

Далее ставят кристаллизатор на конденсорную линзу проекционного аппарата и получают на экране резкое изображение мелких распыленных частиц. Если в некоторых местах поверхности порошка окажется мало, его следует добавить тем же приемом.

После этого с помощью тонкой стеклянной трубки или пипетки вводят на середину поверхности воды небольшую каплю эфира, причем трубку располагают так, чтобы она не мешала наблюдению (рис. 2-70). На экране сейчас же наблюдается быстрое перемещение частичек порошка к краям кристаллизатора и в середине появляется «окно». Это объясняется тем, что эфир резко понижает поверхностное натяжение воды, в связи с чем равновесие сил поверхностного натяжения нарушается (рис. 2-71).

Вместо эфира в этом опыте можно воспользоваться кусочком любого мыла, укрепленным на конце тонкой лучинки или проволоки и имеющим заостренную форму. Достаточно дотронуться этим кусочком до поверхности воды, посыпанной порошком, чтобы наблюдать описанный выше эффект (рис. 2-72). Лучинку с кусочком мыла удобно хранить в пробирке, закрепив свободный конец ее в пробке.

Далее следует показать опыт с веществом, повышающим поверхностное натяжение воды. Для этой цели удобно воспользоваться леденцом, но не кусковым рафинадом, имеющим поры.

Кусочек такого сахара на проволоке подносят к небольшой лучинке, плавающей на поверхности воды в центральной части

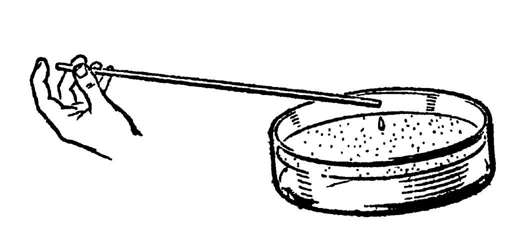


Рис. 2-70. Введение капли эфира на поверхность воды.

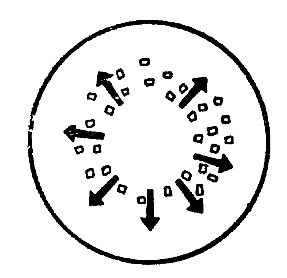


Рис. 2-71. Изменение силы поверхностного натяжения воды эфиром.

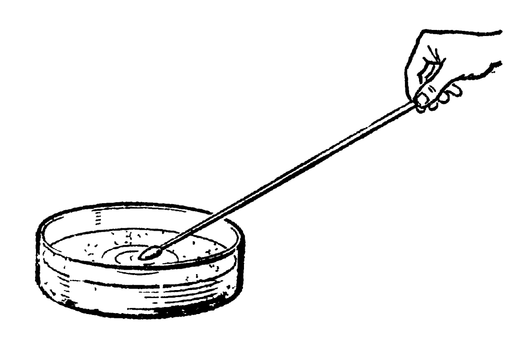


Рис. 2-72. Изменение силы поверхностного натяжения воды мылом.

кристаллизатора[1]. На экране наблюдают медленное перемещение лучинки к сахару (рис. 2-73, *а*): постепенно растворяясь в воде, сахар увеличивает поверхностное натяжение. После этого рекомендуется поднести к лучинке мыло и убедиться, что она будет перемещаться в противоположном направлении (рис. 2-73, *б*).

Очень эффектно можно показать изменение поверхностного натяжения воды камфарой. Для этого, как и в предыдущих опытах, берут кристаллизатор с чистой водой, но без порошка, и сбрасывают на ее поверхность несколько кристалликов камфары. На экране наблюдают их интенсивное беспорядочное движение по всей поверхности жидкости, часто сопровождающееся вращением. Такое явление объясняется неравномерностью растворения камфары в различных точках соприкосновения с водой и связанным с ней неравномерным изменением поверхностного натяжения воды. Это явление более сложное, и показывать его надо после того, как у учащихся накопится некоторый запас знаний.

Успех описанных опытов в значительной степени зависит от чистоты посуды и воды. Даже незначительные примеси каких-либо веществ могут повлиять на качество демонстраций. Поэтому кристаллизатор надо сначала тщательно вымыть горячей водой, прополоскать в струе водопроводной воды и высушить; воду для каждого опыта нужно брать свежую.

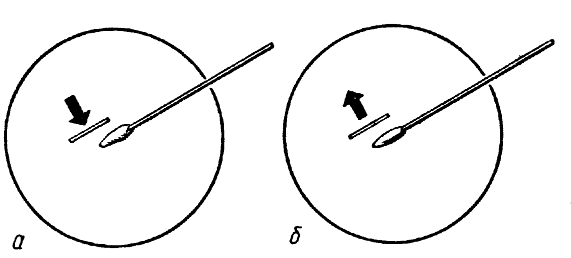


Рис. 2-73. Изменение силы поверхностного натяжения воды сахаром (*а*) и мылом (*б*).

---

[1] Такую небольшую плоскую лучинку удобно отрезать ножницами от донышка спичечной коробки.

ОПЫТ 87. ЯВЛЕНИЯ СМАЧИВАНИЯ И НЕСМАЧИВАНИЯ, ОБРАЗОВАНИЕ КРАЕВОГО УГЛА

Оборудование: 1) проекционный аппарат, 2) кювета плоскопараллельная, 3) кювета малая, 4) подкрашенная вода.

Краевые углы, образованные при смачивании и несмачивании, можно наглядно показать всему классу на экране при помощи небольшой самодельной кюветы и проекционного аппарата с объективом, имеющим оборотную призму. Кювету рекомендуют склеить из листового стекла так, чтобы в ней образовалось два канала, причем в одном из них стеклянные поверхности должны быть покрыты слоем парафина. Перед демонстрацией в кювету наливают воду, подкрашенную слегка чернилами для авторучки, флюоресцином или хвойным раствором[1].

Затем кювету помещают в диапозитивной рамке проекционного аппарата, которую с помощью винтов крепят на диске-ширме и устанавливают на скамье аппарата (рис. 2-74).

Для изготовления кюветы берут плоское стекло (лучше зеркальное) толщиной 2,5—3 мм. Алмазом вырезают шесть полосок следующих размеров: № 1 — 46 × 40 мм, № 2 — 35 × 10 мм — 2 шт., № 3 — 40 × 11 мм, № 4 — 30 × 10 мм, № 5 — 50 × 50 мм.

Поверхность стекла хорошо отмывают сначала мыльной, а затем чистой водой и просушивают. Далее кладут на лист бумаги стекло № 1 (46 × 40 мм) и к нему приклеивают детали, показанные на рисунке 2-75 в следующей последовательности: № 1, № 3, № 2, вторая пластинка № 2, затем приклеивается пластинка № 4 и, наконец, пластинка № 5. Наиболее подходящими и доступными для данного случая являются водонепроницаемый клей «Mökol» (ГДР), «Kittifix» (ГДР) или клей суперцемент (Польша)[2]. Его наносят на поверхность стекла тонким слоем, что можно сделать с помощью лезвия безопасной бритвы, и высушивают на воздухе, затем также наносят второй слой и склеиваемые части сжимают, оставляя под грузом в течение нескольких часов.

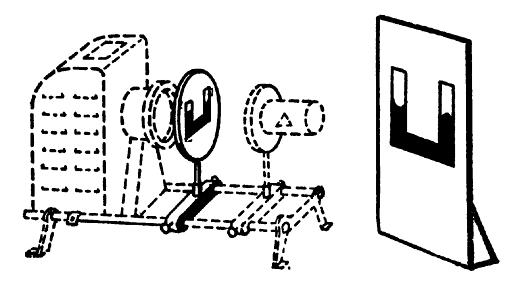


Рис. 2-74. Установка для демонстрации образования краевых углов.

---

[1] Последний приготовляется из хвойных таблеток для ванн.

[2] Клей приобретают в хозяйственных магазинах. Хранить его надо плотно закрытым и в прохладном месте. Огнеопасный.

Ребра полосок № 2 и № 4 покрывают слоем парафина. Для этого сначала на ребра наносят слой клея и сейчас же на него насыпают мелкие крошки пенопласта. Затем (примерно через час) с помощью свечи накапывают на ребра парафин.

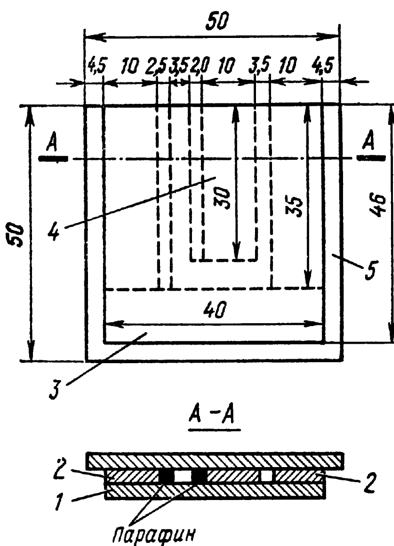


Рис. 2-75. Устройство плоской кюветы для проецирования.

На готовую кювету с наружной поверхности рекомендуется наклеить металлическую фольгу с вырезами для того, чтобы при проецировании четко выделились только контуры каналов.

ОПЫТ 88. ЯВЛЕНИЕ ФЛОТАЦИИ

Оборудование: 1) кювета для проецирования стеклянная на стержне, 2) поплавки пробковые — 2 шт., 3) груша и трубка резиновая от пульверизатора, 4) распылитель воздуха самодельный, 5) вазелин технический.

Флотация (от французского flotter — плавать, всплывать) — метод обогащения полезных ископаемых, главным образом руд цветных металлов. Этот метод имеет очень большое промышленное значение. Он основан на свойстве не смачивающихся водой (гидрофобных) веществ прилипать в воде к пузырькам воздуха и вместе с ними всплывать на поверхность.

Чтобы показать это явление, собирают прибор, представленный на рисунке 2-76. В кювету *1* помещают U-образную металлическую полоску *2*[1], равную по ширине кювете, с укрепленным на ней распылителем *3*. Предварительно распылитель соединяют резиновой трубкой с грушей пульверизатора *4*. На резиновую трубку надевают винтовой зажим *5*, предназначенный для регулировки количест-

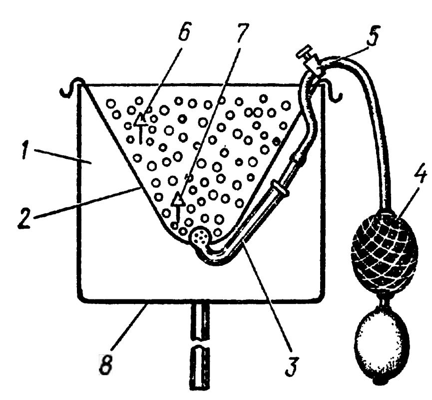


Рис. 2-76. Прибор для демонстрации явления флотации:

1 — кювета для проецирования; *2* — *u*-образная металлическая пластинка; *3* — распылитель воздуха; *4* — груша от пульверизатора; *5* — винтовой зажим; *6* и *7* — поплавки с несмачиваемой и смачиваемой поверхностями; *8* — тонкий резиновый шнур.

[1] Полоску изготавливают из латуни, меди или нержавеющей стали.

ва воздуха, подаваемого к распылителю, и сжимают им трубку. Нажимая на грушу, в камеру накачивают воздуха столько, чтобы ее поверхность максимально растянула нитяную сетку камеры. Такой запас воздуха будет достаточен, чтобы иметь интенсивный поток мелких пузырьков воздуха на все время опыта.

Подготовку опыта заканчивают регулировкой веса двух поплавков, состоящих из пробки и кусочка проволоки. Путем нескольких проб надо добиться, чтобы вес поплавка, погруженного в воду, равнялся выталкивающей силе. Для этого кусачками срезают некоторую часть проволоки или мелким напильником опиливают часть пробки. Если нужно увеличить вес поплавка, тогда вставляют в пробку другую, более длинную проволоку. Для этой цели удобен эмалированный медный провод диаметром 0,1—0,2 мм. Размер пробки может быть примерно величиной с семечко яблока.

Для этого опыта нужно иметь два поплавка (*6* и *7*, рис. 2-76). Окончательное тарирование несмачиваемого поплавка производят после смазывания его поверхности техническим вазелином. С этой целью можно к нему крепить или снимать с помощью спички кусочки пластилина. Когда регулировка веса будет закончена, поплавки помещают в кювету, заполненную водой. Погружаясь, поплавки попадают в поток мелких пузырьков воздуха, выходящих из распылителя.

Обращают внимание учащихся, что пузырьки воздуха не остаются на поверхности поплавка, смáчиваемого водой, а свободно скользят по ней и затем поднимаются вверх. К поплавку же, смазанному вазелином, пузырьки воздуха прилипают. Он становится легче и всплывает на поверхность воды. Следует подчеркнуть, что поплавок поднимается именно потому, что выталкивающая сила стала больше, а не в результате механического воздействия потока воздушных пузырьков, поднимающихся от распылителя. С этой целью надо остановить поток воздуха с помощью винтового зажима и обратить внимание учащихся, что поплавок благодаря прилипшим пузырькам воздуха будет все время оставаться на поверхности воды.

Самодельный распылитель воздуха для этого опыта собирают из стеклянной трубки и надетого на нее резинового колпачка от глазной пипетки, в конец которого предварительно укладывается кусочек пористой резины, как это указано на рисунке 2-77. Перед сборкой распылителя острый конец стеклянной трубки завертывают кусочком фланели и прикрепляют ее к трубке изоляционной

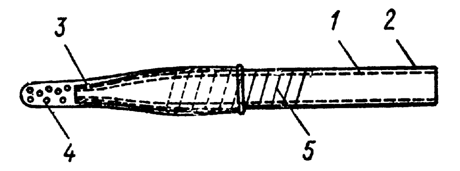


Рис. 2-77. Распылитель воздуха:
1 и *2* — стеклянная трубочка и резиновый колпачок от глазной пипетки; *3* — фланель; *4* — пористая резина; *5* — изоляционная лента, укрепляющая фланель на стеклянной трубке.

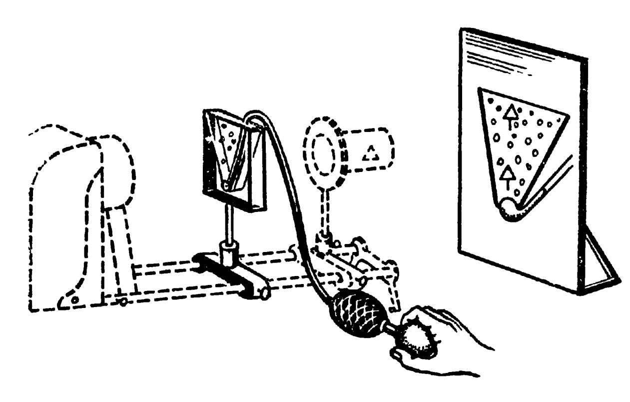


Рис. 2-78. Установка для демонстрации явления флотации.

лентой. Затем тонкой иглой прокалывают 10—15 отверстий в конце выступающего колпачка и распылитель укрепляют с нижней стороны *U*-образной плоской металлической полоски, которую, в свою очередь, закрепляют в кювете тонким резиновым шнуром 8, как указано на рисунке 2-76.

Общий вид установки, предназначенной для проецирования прибора на экран, показан на рисунке 2-78. Целесообразно в этом опыте применить объектив с оборотной призмой.

ОПЫТ 89. КАПИЛЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Оборудование: 1) проекционный аппарат, 2) капилляры промышленного и самодельного изготовления, 3) кинопроектор, 4) кинофильм «Капиллярные явления»[1], 5) подкрашенная вода.

Для этого опыта чаще применяют капилляры промышленного изготовления из трех трубок на подставке для хранения (рис. 2-79).

В капилляры наливают подкрашенную воду, помещают их вместе с подставкой на подъемный столик перед конденсором проекционного аппарата и проецируют на экран. Таким образом демонстрируют образование вогнутого мениска и зависимость высоты поднятия жидкости от диаметра капилляра.

Однако приведенный выше демонстрационный опыт имеет следующий недостаток. Свет, проходя через цилиндрические трубки капилляров, претерпевает значительное преломление. Поэтому качество изображения менисков на экране у наиболее узких трубок получается невысоким.

Можно устранить этот недостаток, изготовив самодельные капилляры по рисунку 2-80. Для этого из плоского листового стекла толщиной приблизительно 2,5 мм нарезают алмазом шесть полосок следующих размеров: № 1 — 45 × 42 мм, № 2 — 40 × 10 мм —

[1] Капиллярные явления. 1 ч. «Школфильм», 1965. Продолжительность демонстрации — 9 мин.

2 шт., № 3 — 42 × 5 мм, № 4 — 30 × 8 мм, № 5 — 50 × 50 мм. Полоски склеивают способом, описанным в опыте 87.

Кювету во время демонстрации устанавливают в диапозитивной рамке 50 × 50 мм, которая входит в комплект деталей универсального проекционного аппарата.

Рассмотрение капиллярных явлений целесообразно завершить показом кинофильма «Капиллярные явления». Учащиеся знакомятся в фильме с капиллярными явлениями на хорошо известных им фактах: впитывание чернил промокательной бумагой и воды тканью полотенца. Чтобы объяснить, как это происходит, ставится опыт с кирпичом, поры которого образуют капиллярные ходы; по ним и поднимается жидкость.

Далее демонстрируется подъем смачивающей жидкости в трех капиллярных трубках. Опыт опять убеждает учащихся, что, чем тоньше канал капилляра, тем выше в нем поднимается смачивающая жидкость, образуя вогнутый мениск. Иную картину можно наблюдать с несмачивающей жидкостью.

В подтверждение этого на экране снова показаны три капиллярные трубки, погруженные в сосуд со ртутью. Оказывается, чем тоньше канал капилляра, тем ниже опускается в нем ртуть, образуя выпуклый мениск.

На этот опыт следует обратить особое внимание учащихся, так как по условиям правил техники безопасности подобные опыты со ртутью в школе не ставятся.

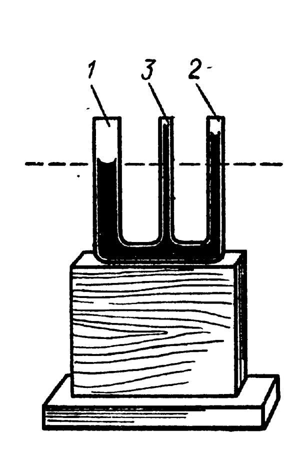


Рис. 2-79. Капиллярные сосуды:

1 — широкая трубка; *2* — капилляр диаметром 2 мм; *3* — капилляр диаметром 1 мм.

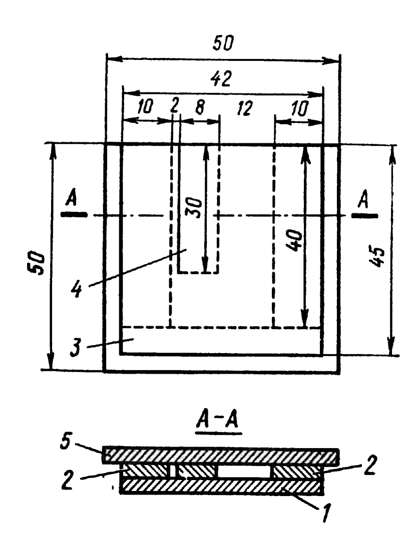


Рис. 2-80. Устройство склеенного капиллярного сосуда.

После этого фильм знакомит учащихся с капиллярными явлениями в природе. Крупным планом показан разрез стебля растения с пучком проводящих сосудов и подъем жидкости по этому стеблю; подъем воды по капиллярам в почве и зависимость интенсивности этого явления от структуры почвы (опыт с мелким, средним и крупным песком, а также стальными шариками различных диаметров); способы задержания влаги в почве, которые применяются в сельском хозяйстве.

Наконец, учащиеся знакомятся с применением капиллярных явлений в технике: показано устройство и действие фитильной масленки, подающей масло из резервуара к подшипнику; пайка металлов и контроль дефектов металлических изделий — обнаружение скрытых мельчайших трещин в металле. Здесь же рассматривается принцип действия обычной авторучки, в которой по капиллярным пазам подтягиваются чернила из резервуара к перу. Показано и вредное влияние капиллярности, а также борьба с ней: гидроизоляция фундамента здания.

ОПЫТ 90. ДАВЛЕНИЕ В МЫЛЬНЫХ ПУЗЫРЯХ РАЗНОГО ДИАМЕТРА

Оборудование: 1) стеклянный тройник, 2) резиновая трубка длиной около 30 см со стеклянным мундштуком, 3) пружинный зажим, 4) штатив с муфтой и лапкой, 5) кристаллизатор с мыльным раствором.

Давление стенок мыльного пузыря на заключенный в нем воздух выражается формулой Лапласа

$$p = \frac{4\sigma}{r},$$

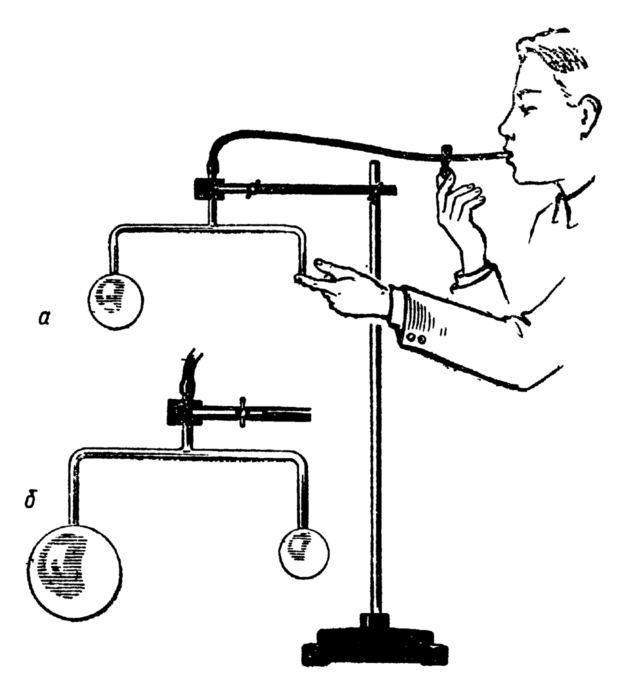
где p — добавочное давление, σ — коэффициент поверхностного натяжения и r — радиус пузыря.

Из этой формулы следует, что воздух в пузыре меньшего диаметра находится под бо́льшим давлением, и наоборот.

Для демонстрации этого явления собирают установку по рисунку 2-81, *а*. Закрепляют в лапке штатива тройник, предварительно надев на его средний патрубок резиновую трубку с пружинным зажимом и стеклянным мундштуком. После этого прикасаются мыльным раствором к концу одной из трубок стеклянного тройника. В то же время закрывают отверстие другой трубки и, нажав пальцами на пружинный зажим, выдувают один небольшой мыльный пузырь.

Далее подносят мыльный раствор к концу второй трубки и выдувают одновременно оба мыльных пузыря. Когда один из них будет иметь диаметр 12—15 см, а другой будет значительно меньших размеров, тогда опять зажимают трубку прижимным зажимом (рис. 2-81, *б*). Теперь можно наблюдать, как в результате перетекания воздуха малый пузырь будет уменьшаться, а большой увеличиваться. Равновесие наступит тогда, когда первый пузырь стя-

Рис. 2-81. Выдувание двух мыльных пузырей разного диаметра.



нется в пленку, имеющую одинаковую кривизну с другим пузырем. Чтобы пузыри имели достаточно прочные стенки и сохранялись на воздухе в течение нескольких минут, надо пользоваться хорошей мыльной жидкостью.

Ниже приводятся указания для приготовления подходящей жидкости. В склянку емкостью 350—400 мл из темного стекла с широкой притертой пробкой наливают 250 см³ дистиллированной воды. Затем всыпают 5—6 см³ истолченного олеиновокислого натрия или олеиновокислого калия (нагревать или перемешивать не следует) и для его растворения ставят склянку на сутки в темное место. После этого вливают в склянку 75 см³ глицерина (плотность 1230 кг/м³). Теперь жидкость тщательно перемешивают встряхиванием, добавляют одну-две капли крепкого нашатырного спирта и оставляют стоять в темном месте.

Размеры стеклянного тройника, примененного в установке для этого опыта, указаны на рисунке 2-82.

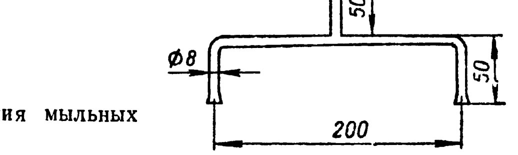


Рис. 2-82. Трубка для выдувания мыльных пузырей.

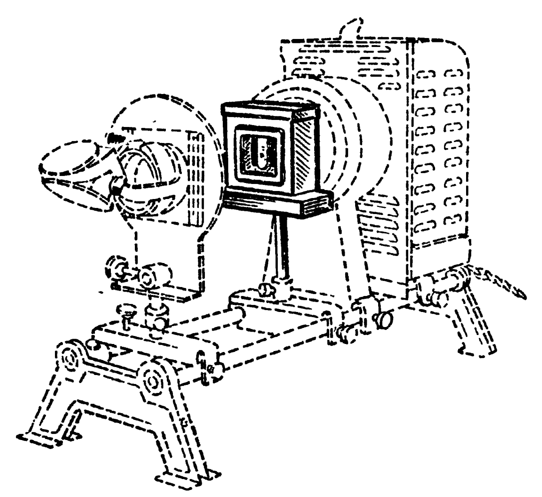


Рис. 2-83. Установка для демонстрации опыта Плато.

ОПЫТ 91. ОПЫТ ПЛАТО

Оборудование: 1) проекционный аппарат, 2) кювета плоскопараллельная от прибора «Манометр с каплей воды» или от прибора для демонстрации электроискровой обработки металла, 3) пробирка диаметром 15—20 мм, длиной 60—80 мм, 4) крышка для установки пробирки в кювете, 5) глазная пипетка, 6) стеклянная палочка или отрезок нетолстой медной проволоки, 7) машинное масло.

В целях более экономичного расхода реактивов опыт Плато можно показать, воспользовавшись диапроекцией. Для этого на скамье проекционного аппарата перед конденсором устанавливают в рейтере подъемный столик, а на него помещают кювету с чистой водой (рис. 2-83).

В кювету вставляют пробирку, закрепленную предварительно в металлической или фанерной крышке, подогнанной по размерам кюветы; в разобранном виде прибор показан на рисунке 2-84. В пробирку наливают до половины высоты спирт, слегка подкрашенный, например, чернилами для авторучки. С помощью объектива и оборотной призмы установку проецируют на экран[1]. При этом нижняя часть пробирки, где налит спирт, проецируется на экран четко, верхняя же будет несколько затемнена вследствие явления внутреннего отражения. Однако это никак не помешает наблюдению за дальнейшим ходом выполнения опыта, которое сводится к следующему.

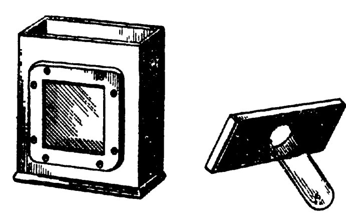


Рис. 2-84. Кювета для проецирования пробирки на экран.

С помощью глазной пипетки вводят в пробирку каплю масла диамет-

[1] Без плоской кюветы с водой изображение пробирки на экране получается искаженным, и поэтому вести наблюдения не представляется возможным.

ром приблизительно 5 мм. Наблюдают, как она, четко выделяясь на экране благодаря своей светло-коричневой окраске, медленно погрузится на дно пробирки со спиртом и примет овальную приплюснутую форму (рис. 2-85). Такая форма объясняется тем, что вес капли масла, которое не смешивается со спиртом, больше выталкивающей силы.

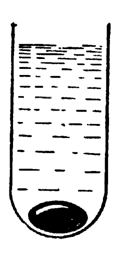


Рис. 2-85. Капля масла на дне пробирки со спиртом.

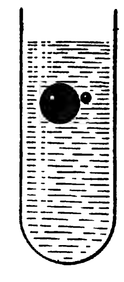


Рис. 2-86. Две капли масла в растворе спирта.

Глазной пипеткой подливают в пробирку чистую воду и, слегка помешивая ее той же пипеткой, добиваются необходимой плотности воды и спирта. Подливать воду надо очень осторожно, сначала тонкой струйкой, а затем по каплям. Наблюдают, как капля масла постепенно поднимается со дна и принимает правильную форму шара (рис. 2-86). Она будет плавать внутри раствора: вес капли уравновешивается выталкивающей силой.

Все это очень хорошо видно учащимся, так как проецируется на экране четко, без каких-либо теней. Кроме того, изображение на экране можно значительно увеличить, не меняя установки, если вместо объектива взять короткофокусную линзу из лабораторного набора по оптике.

Чтобы лишний раз подчеркнуть, что капля масла в таком растворе принимает правильную сферическую форму, надо ввести внутрь капли конец нетолстой проволоки с петелькой, расположить каплю для удобства в средней части прибора и заставить ее медленно повертываться. Форма капли во всех положениях будет оставаться строго сферической. Затем можно с помощью тонкой проволоки разделить каплю на две-три части и убедиться, что каждая из них опять принимает форму шара, как это видно на рисунке 2-86.

В описанной постановке опыт Плато также успешно можно показать с другими жидкостями, например с раствором поваренной соли (вместо спирта) и анилином (вместо масла), плотность которого равна 1,022 кг/м^3. Кроме того, приготовленный один раз раствор с каплей масла или анилина в пробирке, закупоренной резиновой пробкой, может некоторое время сохраняться для последующих демонстраций. Так как анилин ядовит, то при работе с ним следует соблюдать осторожность[1].

---

[1] На флаконе должны быть две надписи: «Анилин» и «Яд». Хранить следует в препараторской в недоступном для учащихся месте.

ОПЫТ 92. АДСОРБИРОВАНИЕ ПАРОВ СПИРТА УГОЛЬНЫМ ПОРОШКОМ

Оборудование: 1) прибор для демонстрации явлений адсорбции, 2) манометр демонстрационный водяной с соединительной резиновой трубкой, 3) спирт, 4) угольный порошок (растертые угольные таблетки — карболен), 5) тонкостенная пробирка с пробкой, 6) столик лабораторный.

При внесении твердого тела в тот или иной газ или пар на поверхности тела образуется тончайший слой как бы прилипшего уплотненного газа (адсорбция). Это явление сопровождается резким падением давления, если пространство, где находился газ или пар, изолировано.

Для демонстрации явления адсорбции может быть применен самодельный прибор, изображенный на рисунке 2-87. В широкогорлую стеклянную банку из-под молока *1* емкостью 200 см³ опускают тонкостенную пробирку *2*, наполненную угольным порошком. Банку плотно закрывают мягкой резиновой пробкой с отверстием, в которое вставляют стеклянную трубку *3* диаметром 8 мм и длиной 50 мм.

Затем, установив прибор на лабораторном столике, соединяют его резиновой трубкой с демонстрационным манометром, заполненным водой, подкрашенной чернилами от авторучки (рис. 2-88). Опыт проводят в следующей последовательности. Сначала обращают внимание учащихся, что уровни воды в манометре одинаковы, т. е. давление в приборе равно атмосферному. Затем, вынув пробку, вливают в прибор 0,2—0,3 см³ спирта и опять плотно закрывают прибор. Спирт будет постоянно испаряться, и манометр покажет сначала быстрое, а затем медленное увеличение давления в приборе. Через 4—5 мин, когда давление установится (15—20 см

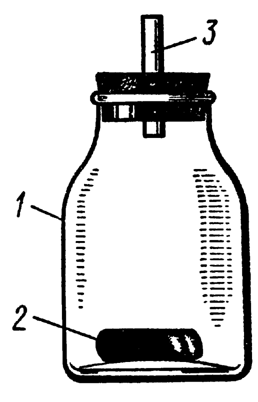
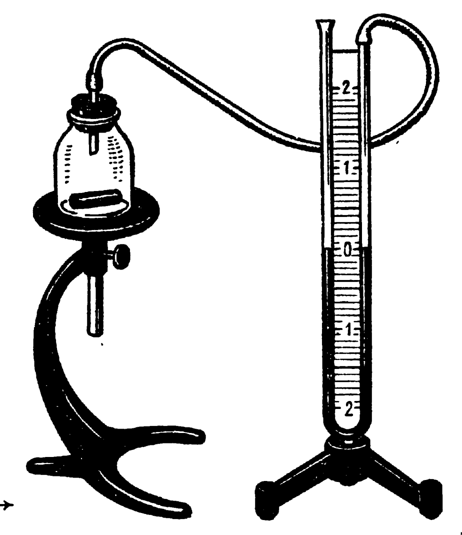


Рис. 2-87. Прибор для демонстрации адсорбции.



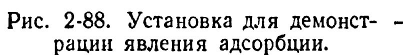
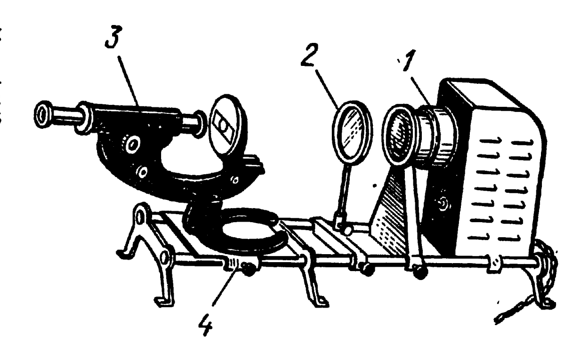

Рис. 2-88. Установка для демонстрации явления адсорбции. →

Рис. 2-89. Установка для микропроекции:

1 — осветитель с конденсором; 2 — тепловой фильтр; 3 — микроскоп типа М-9; 4 — столик.



вод. ст.), прибор резко встряхивают, пробирка разбивается и угольный порошок высыпается на дно. Через 5—6 мин давление в колбе будет близко к атмосферному: наступает почти полное поглощение адсорбентом (активированным углем) адсорбируемого вещества (паров спирта).

Процесс адсорбции можно ускорить, если после введения угольного порошка еще раз встряхнуть прибор, чтобы порошок осел тонким слоем на стенках прибора.

После опыта прибор надо промыть водой и просушить, а пробку и трубку протереть, чтобы не осталось следов угольного порошка.

§ 6. СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

ОПЫТ 93. ОБРАЗОВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ

Оборудование: 1) проекционный аппарат с кинопроекционной или дуговой лампой, 2) микроскоп биологический[1], или школьный, 3) столик для установки микроскопа, 4) линза двояковыпуклая диаметром 80 мм, $F = 400$ мм, 5) теплопоглощающий фильтр, 6) экран настольный, 7) три пробирки с насыщенным раствором двухромокислого аммония, гидрохинона, поваренной соли, 8) предметное стекло, 9) стеклянная палочка, 10) стержень стальной диаметром 10 мм и резьбой М10 с одной стороны.

Демонстрировать образование кристаллов учащимся целого класса наиболее удобно в микропроекции. Установку для этой цели собирают на скамье проекционного аппарата в следующем порядке (рис. 2-89). В корпусе осветителя помещают кинопроекционную лампу и при помощи конденсора получают пучок сходящихся лучей — световой конус. Затем на скамье перед конденсором с помощью рейтера устанавливают теплопоглощающий фильтр, укрепленный в оправе со стержнем. Если такого фильтра нет, то можно воспользоваться кюветой со слоем воды не менее 5 см, например кюветой от прибора «Манометр с каплей воды».

---

[1] В школе наиболее часто встречаются биологические микроскопы трех типов: М-9, МБР-1 или МБН-1.

Далее устанавливают микроскоп на столике, выпущенном для этой цели промышленностью. При этом для крепления столика применяют тот же винт, которым закрепляется основание микроскопа в дне футляра, только под винт нужно приготовить прокладку с отверстием[1].

Тубус микроскопа располагают горизонтально, чтобы его оптическая ось была совмещена с оптической осью конденсора проекционного аппарата. Зеркало микроскопа снимают или отводят в сторону: пучок света должен входить непосредственно в отверстие предметного столика.

Можно получить большую яркость изображения на экране, если в описанной установке применить дополнительную двояковыпуклую линзу диаметром 80 мм с фокусным расстоянием 400 мм, расположив ее на скамье перед конденсором при помощи ширмы с эксцентриковым зажимом. Назначение этой линии состоит в том, чтобы полнее использовать свет, сделать пучок лучей, входящий в объектив, более узким. Кроме того, можно воспользоваться в качестве источника света дуговой лампой, а еще лучше — гелогенной лампой на 30 В, 300 Вт.

После сборки установки берут стеклянной палочкой небольшую каплю насыщенного раствора, например гидрохинона, поваренной соли, двухромокислого аммония, хлористого аммония и т. п., и переносят ее на предметное стекло. Необходимые растворы приготовляют заранее и хранят в небольших колбочках или в пробирках, закрытых пробками.

Затем стекло с препаратом устанавливают в пучке света на столике микроскопа и, перемещая объектив вдоль оптической оси, добиваются четкого изображения на настольном экране. Расстояние до экрана подбирают такое, чтобы световое поле имело диаметр около 30 см. Вследствие некоторого нагревания в пучке света вода сравнительно быстро испаряется, и из раствора вскоре начинают выпадать кристаллы.

Наиболее эффектно проходит демонстрация с двухромокислым аммонием. По истечении 1,5—2 мин после нанесения капли насыщенного раствора начинается кристаллизация. Сначала на краях, а потом и по всей поверхности капли появляются золотисто-оранжевые ветви с тонкими иглами, образующими рисунок самой причудливой формы. Вся демонстрация продолжается 3—5 мин. В случае нанесения более тонкого раствора или приготовления его не на воде, а на эфире или спирте время демонстрации значительно сокращается.

Вполне удовлетворительно получается демонстрация и с насыщенным раствором поваренной соли. В этом случае из раствора выпадают ясно видимые на экране кристаллы кубической формы разной величины.

---

[1] Для этой цели удобно применять небольшой кусок толстостенной резиновой трубки и стальную шайбу.

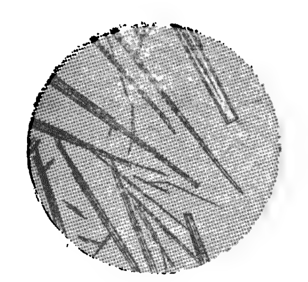


Рис. 2-90. Кристаллы гидрохинона.

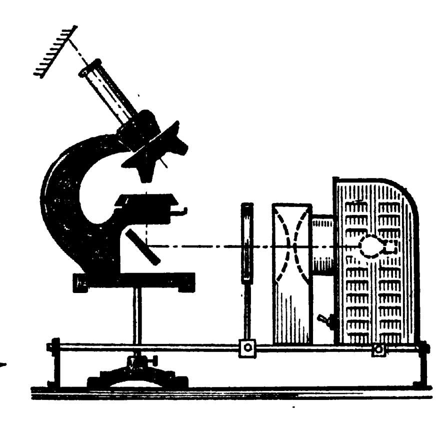


Рис. 2-91. Установка для микропроекции с микроскопом типа МБР-1.

Особенно хорошо можно видеть неодинаковые скорости роста кристаллов в различных направлениях у гидрохинона. Наблюдая на экране за образованием тонких длинных игл (рис. 2-90), следует подчеркнуть эту анизотропию роста.

Если в школе нет столика для микроскопа, а также микроскопов типа М-9 или МБН-1, а имеется, например, микроскоп типа МБР-1, тогда можно поступать следующим образом. В основание микроскопа ввертывают стержень, имеющий на конце резьбу, как и в основании штатива микроскопа[1]. Этот стержень закрепляется на скамье в рейторе или на треноге физического штатива. Установку собирают по рисунку 2-91.

ОПЫТ 94. ДЕМОНСТРАЦИЯ МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РЕШЕТКИ КРИСТАЛЛОВ

Оборудование: 1) модель пространственной решетки кристалла хлористого натрия, 2) эпидиаскоп.

Познакомить учащихся с особенностями строения кристаллических тел можно на модели пространственной решетки кристалла поваренной соли (NaCl). Такая модель размером 20 × 20 × 20 см, состоящая из тонких металлических стерженьков, темных и светлых шариков, выпускалась Главучтехпромом в разобранном виде.

Для демонстрации собирают модель и располагают ее прямо на столе или предварительно устанавливают на подставку, как показано на рисунке 2-92. Обращают внимание, что шарики одного цвета имитируют собою ионы натрия, а другого — ионы хлора.

Каждый ион в кристалле совершает тепловое колебательное движение около некоторого среднего положения — узла. Если соединить эти узлы прямыми линиями, то образуется пространственная решетка, аналогичная представленной модели.

[1] В основании штатива микроскопа имеется отверстие с резьбой, предназначенное для крепления микроскопа винтом к футляру, что необходимо для его надежной транспортировки и хранения.

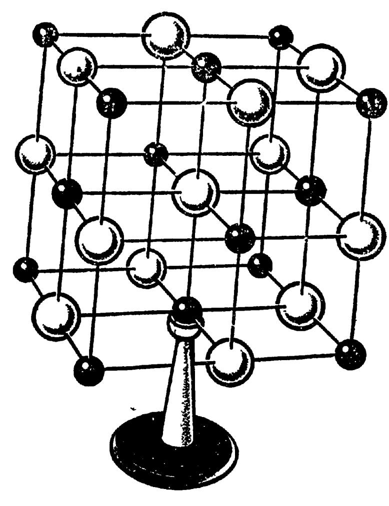


Рис. 2-92. Модель пространственной решетки хлористого натрия.

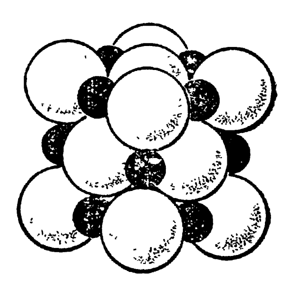


Рис. 2-93. Модель плотной упаковки ионов в кристалле хлористого натрия.

Те и другие ионы (черные и белые шарики) чередуются между собой; они расположены на равных расстояниях друг от друга по трем взаимно перпендикулярным направлениям и образуют в пространстве правильную кубическую форму.

Каждый из ионов натрия окружен шестью ионами хлора, и, наоборот, каждый ион хлора — шестью ионами натрия.

Если по той или иной грани решетки выбрать одно из вертикальных или горизонтальных направлений, можно заметить, что по этим направлениям всегда будут встречаться чередующиеся белые и черные шарики — ионы натрия и хлора. Если же провести прямую линию по диагонали, на ней окажутся только белые или только черные шарики, т. е. ионы только одного элемента. Уже это наблюдение может служить основанием для объяснения явления анизотропии, свойственной различным кристаллическим телам.

Полезно обратить внимание учащихся на то, что размеры ионов в решетке неодинаковы: радиус иона натрия приблизительно в 2 раза больше радиуса иона хлора. Если те и другие ионы поваренной соли изобразить в масштабе и представить в виде соприкасающихся между собой шаров (черные — натрий, белые — хлор), то при такой плотной упаковке решетка будет иметь вид, представленный на рисунке 2-93. Этот рисунок следует показать учащимся, обратив внимание на определенную закономерность расположения ионов: такое расположение обусловливается наиболее устойчивым равновесием кристаллической решетки, т. е. минимумом ее потенциальной энергии.

Если в физическом кабинете пространственной решетки нет, то ее можно изготовить своими силами. Для этого надо иметь следующие детали: 1) стерженьков двойной длины — 19; 2) стерженьков одинарной длины — 16; 3) шариков светлых — 13; 4) шариков темных — 14. Каждый шарик надо просверлить насквозь по трем взаимно перпендикулярным направлениям.

Сборку лучше проводить в такой последовательности. Сначала на 13 длинных стерженьков поместить точно посередине по одному светлому шарику. На другие 6 длинных стерженьков поместить 6 шариков темного цвета. Затем оставшиеся 8 темных шариков посадить по одному на концы 4 длинных стерженьков, имеющих посередине светлые шарики. Наконец, 16 коротких стерженьков использовать для завершения сборки, руководствуясь рисунком.

ОПЫТ 95. АНИЗОТРОПИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ У КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ГИПСА

Оборудование: 1) графпроектор или проекционный аппарат с приспособлением для горизонтального проецирования, 2) тонкая пластинка гипса, 3) покровное стеклышко, 4) спиртовка, 5) игла штопальная на деревянной ручке, 6) небольшой кусочек парафина или воска.

Анизотропию теплопроводности можно показать с различными кристаллическими веществами. Однако наиболее удобным для этой цели оказывается гипс, который легко расщепить по природным граням на тонкие пластинки, обладающие достаточной прозрачностью.

С помощью острого ножа и пинцета отделяют от большого кристаллического образования гипса пластинку площадью всего 4—4,5 $см^2$ и толщиной 0,2—0,3 мм. При этом обращают внимание на то, чтобы на поверхности пластинки не оказалось глубоких трещин и грубых механических царапин.

Затем берут пластинку пинцетом и немного подогревают ее над пламенем спиртовки. Подогревать надо осторожно и лишь настолько, чтобы на пластинке мог образоваться самый тонкий слой расплавленного парафина, когда им слегка проводят по нагретой поверхности. Таким способом наносят тонкий сравнительно ровный слой на поверхность гипса и на поверхность покровного стеклышка. После этого кладут рядом пластинку гипса и стеклышко на предметное стекло и слегка с краев приклеивают к нему оба препарата любым клеем, чем и заканчивается подготовка прибора.

Для демонстрации опыта обе пластинки (гипс и стекло) с застывшим на них слоем парафина проецируют на экран с помощью графпроектора или приспособления для горизонтальной проекции проекционного аппарата. Благодаря различной структуре гипс и стекло будут хорошо различаться на экране. Для предохранения от царапин конденсорные линзы проекционной аппаратуры полезно предварительно накрыть плоским стеклом.

Далее нагревают на пламени спиртовки докрасна конец иглы, быстро прикасаются им к поверхности гипса и держат до остывания. Парафин от тепла плавится, и на экране появится небольшое светлое пятно — «проталина» в виде эллипса. Опыт повторяют 2—3 раза и убеждаются, что все светлые пятна, полученные таким образом, — эллипсы и что все они оказываются вытянутыми в одном

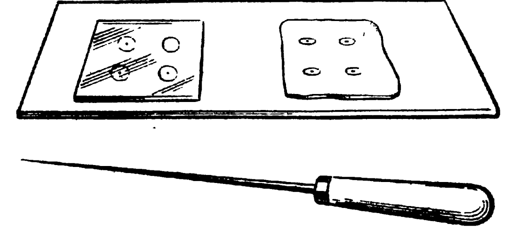


Рис. 2-94. Эллиптические пятна на гипсе и круглые на стекле; внизу — игла на деревянной ручке.

и том же направлении, т. е. в направлении бо́льшей теплопроводности (рис. 2-94).

В заключение 2—3 раза касаются нагретой иглой покровного стеклышка и убеждаются в полном отсутствии анизотропии: все светлые места на покровном стеклышке будут иметь форму круга.

ОПЫТ 96. МОДЕЛЬ, ИЛЛЮСТРИРУЮЩАЯ ОБРАЗОВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ И ЯВЛЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ

Оборудование: 1) графпроектор или проекционный аппарат для горизонтального проецирования, 2) большое часовое стекло, 3) дробь свинцовая или мелкие стальные шарики — 50 шт., 4) два диапозитива, показанные на рисунках ниже.

Важнейшим геометрическим свойством кристаллов и кристаллических решеток является правильное симметричное расположение в них атомов или ионов. Это расположение обычно такое, которое соответствует наиболее устойчивому равновесию решетки, т. е. минимуму ее потенциальной энергии. Подобное правильное расположение можно показать на следующей простейшей механической модели.

На конденсорную линзу графпроектора или приспособления для горизонтального проецирования ставят часовое стекло выпуклостью вниз и получают на экране его изображение. На стекло насыпают чистую свинцовую дробь или мелкие стальные шарики, которые будут иметь сначала некоторое неопределенное размещение.

Слегка постукивают пальцем по стеклу и замечают, что шарики постепенно перемещаются. Они занимают вполне определенное расположение, которое характеризуется тем, что дальнейшие встряхивания стекла не вызывают никакого изменения в положении шариков (рис. 2-95). Теперь шарики, наподобие ионов или атомов кристаллов, имеют наиболее устойчивое состояние.

Обращают внимание на правильные ряды шариков, сдвинутые один по отношению к другому на половину диаметра шарика. Такое расположение соответствует сетке, показанной на рисунке 2-96. Сетка состоит из равносторонних треугольников, в вершинах которых лежат шарики, отмеченные на рисунке черными точками. Диапозитив этого рисунка проецируют на экран после рассмотрения модели.

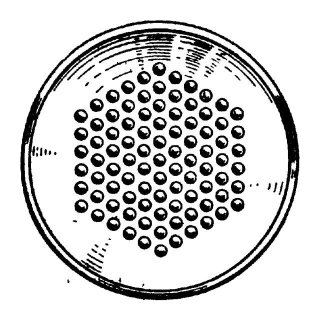


Рис. 2-95. Расположение стальных шариков на часовом стекле.

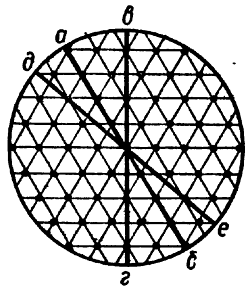


Рис. 2-96. Сетка правильного расположения шариков.

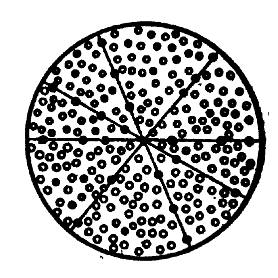


Рис. 2-97. Случайное расположение шариков.

Если на этом рисунке провести через центр прямые линии *аб*, *вг*, *де*, то можно увидеть, как первая из них пройдет через 9 шариков, вторая — через 5, а третья — через 3. Уже этим можно до некоторой степени объяснить явление анизотропии, присущее кристаллам.

Очевидно, при неправильном, хаотическом расположении шариков такое явление не будет наблюдаться. В этом легко убедиться, если воспользоваться другим диапозитивом, изображенным на рисунке 2-97. Здесь в среднем на всех диаметрах окажется приблизительно одинаковое число шариков.

ОПЫТ 97. ВИДЫ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Оборудование: 1) прибор для демонстрации упругих деформаций, 2) резиновый жгут с шайбами из фанеры, 3) тиски слесарные, 4) гидравлический пресс.

Знакомство учащихся с различными видами упругих деформаций целесообразно начинать с рассмотрения примеров, имеющих практический характер. Хорошей иллюстрацией для этого могут служить слесарные тиски или школьная модель гидравлического пресса. В тисках винт при завинчивании подвергается растяжению, а его головка — кручению, в шейках губок происходит деформация изгиба, а закрепленная в тисках деталь находится в состоянии сжатия. В колонках пресса во время работы действует растяжение, в поршне — сжатие, в рукоятке — изгиб, а при продавливании отверстия в стальной пластинке — сдвиг.

При демонстрации этих двух объектов, как и в большинстве технических устройств, деформации не поддаются непосредственному наблюдению. Поэтому полезно, ведя речь о деформации какой-либо детали устройства, показывать этот вид деформации на специальном учебном приборе (рис. 2-98).

Главная деталь прибора — пластина из пористой резины размером 22 × 14 × 0,8 см, расчерченная белой краской на равные квадраты. Для демонстрации растяжения пластину берут двумя

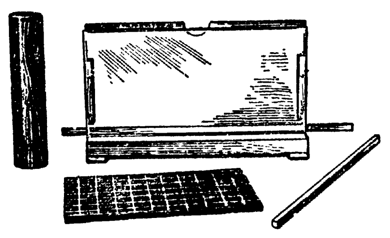
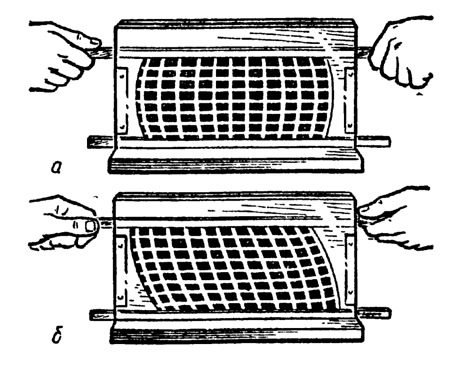


Рис. 2-98. Прибор для демонстрации видов деформации.



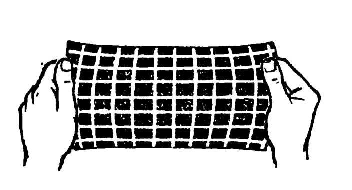


Рис. 2-99. Деформация растяжения.

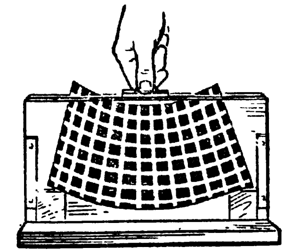


Рис. 2-100. Деформация сжатия (*а*), сдвига (*б*), изгиба (*в*).

руками за концы и растягивают (рис. 2-99). При этом учащиеся наблюдают удлинение пластины в горизонтальном направлении и некоторое поперечное сжатие — в вертикальном. Форма клеток на пластине также соответственно изменяется.

Сжатие демонстрируют на этой же пластине. Ее закладывают в плоскую вертикальную кассету с передней стенкой из органического стекла. Затем нажимают двумя руками на рейку, положенную поверх пластины, как показано на рисунке 2-100, *а*, и наблюдают укорачивание пластины в вертикальном направлении и некоторое расширение — в горизонтальном. Следует отметить, что при деформациях растяжения и сжатия продольная и поперечная деформации не компенсируют друг друга: в первом случае объем тела увеличивается, а во втором — уменьшается. Для демонстрации сдвига верхнюю и нижнюю рейки, между которыми слегка зажата пластина, сдвигают в противоположные стороны. Вследствие этого все горизонтальные параллельные линии сдвигаются относительно друг друга, сохраняя параллельность, а вертикальные линии становятся наклонными (рис. 2-100, *б*).

Заменяют в кассете нижнюю рейку двумя подставками, как показано на рисунке 2-100, *в*, кладут на них пластину и, нажимая на ее середину коротким брусочком, демонстрируют деформацию изгиба. По расположению линий на пластине замечают, что в нижней части пластины произошло растяжение, в верхней — сжатие,

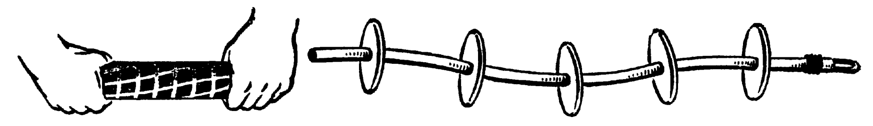


Рис. 2-101. Деформация кручения.

Рис. 2-102. Жгут для демонстрации поперечного сжатия при растяжении.

а длина средней части осталась без изменения. Для демонстрации деформации кручения пластину оборачивают вокруг деревянного цилиндра и скручивают (рис. 2-101). При этом параллельные линии, нанесенные по образующим цилиндра, превращаются в винтовые линии.

Демонстрацию поперечного сжатия при растяжении можно быстро и эффективно провести на приборе, изображенном на рисунке 2-102. Это толстый резиновый жгут (его можно заменить трубкой) с насаженными фанерными шайбами, которые удерживаются трением. Для демонстрации жгут располагают вертикально и растягивают — все шайбы падают.

ОПЫТ 98. ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Оборудование: 1) две тележки для опытов по механике, 2) надувные резиновые шары (детские) — 2 шт.

Надувают резиновый шар из тонкой резины до размера, определяемого предварительным опытом. Завязывают шар и укрепляют его на торце тележки, как показано на рисунке 2-103, *а*. При некотором навыке это можно сделать быстро на глазах учащихся следующим способом. После того как шар надули, его патрубок от руки зажимают, довольно сильно оттягивают и завязывают одним узлом. Затем этим же узлом плотно надевают на небольшой поворачивающийся крючок, который служит у тележки для привя-

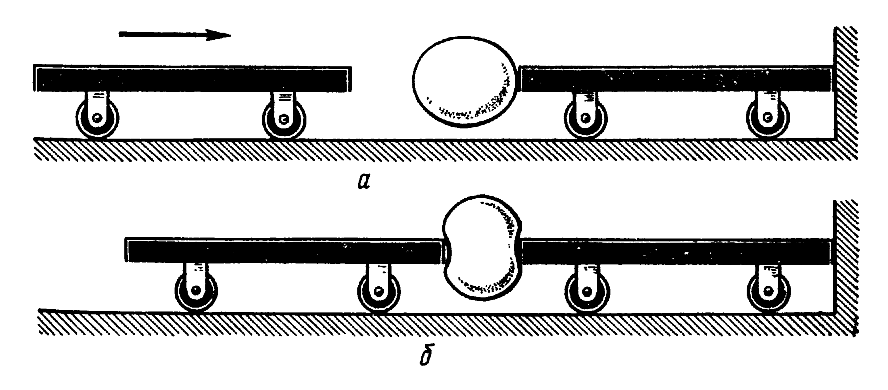
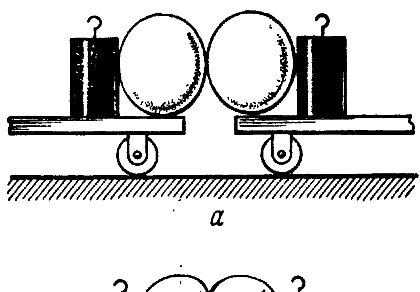


Рис. 2-103. Демонстрация упругой деформации с резиновым шаром.



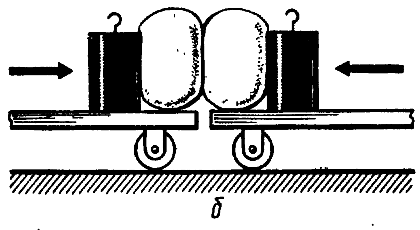


Рис. 2-104. Тележки с двумя резиновыми шарами для демонстрации упругой деформации.

зывания шнура. Размер шара при таком креплении должен быть таким, чтобы он не касался стола.

Перед демонстрацией тележки располагают вдоль стола по одной прямой, шаром друг к другу. Расстояние между тележками подбирают путем предварительной пробы. Для одной из них делают упор, — например, ставят сзади гирю массой 5 кг, а другой от руки сообщают ускорение по направлению к первой. Когда сравнительно массивные тележки столкнутся, то у упругого шара малой жесткости будет весьма наглядно представлено сравнительно медленное и значительное изменение формы (рис. 2-103, *б*), а затем и ее восстановление. Перед учащимися будет показан весь процесс, приводящий к сообщению подвижной тележке нового ускорения, направленного в обратную сторону.

Очевидно, опыт можно варьировать, например не ставить опоры. Тогда тележки обменяются импульсом силы, направленным в ту же сторону. Или сообщить обеим тележкам некоторое количество движения навстречу друг к другу; тогда тележки при ударе оттолкнутся и направятся в разные стороны. Во всех случаях наглядность процесса образования упругой деформации сохраняется.

В этом опыте можно применять и два шара, надутые до значительных размеров. Однако такие шары располагаются выше торца тележек. Поэтому для их опоры приходится ставить на тележки массивные гири, как это показано на рисунке 2-104.

ОПЫТ 99. НАБЛЮДЕНИЕ МАЛЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Оборудование: 1) измеритель малых перемещений, 2) индикатор часового типа, 3) два плоских зеркала из набора для фронтальных лабораторных работ, 4) груз наборный массой в 1 кг, 5) проекционный аппарат, 6) эпископ, 7) планка деревянная (демонстрационный метр), 8) штатив универсальный.

Чтобы обнаружить деформации, возникающие в отдельных частях различных технических сооружений и устройств, применяют различные методы, с которыми полезно ознакомить учащихся на простых демонстрационных установках. Заслуживают внимания механический и оптический методы обнаружения деформаций.

1. На деревянную планку (можно взять демонстрационный

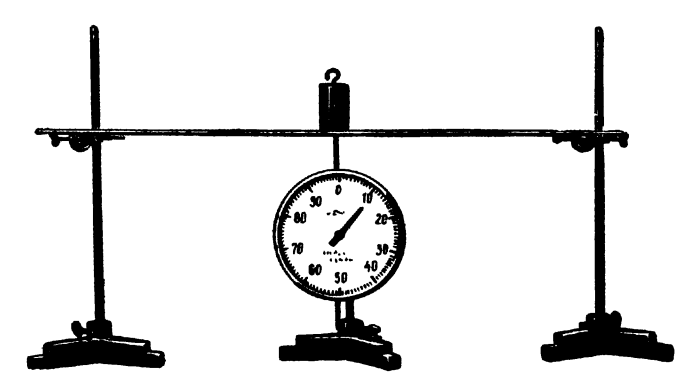


Рис. 2-105. Обнаружение незначительного прогиба планки измерителем малых перемещений.

метр), лежащую горизонтально на двух опорах, ставят груз, например, массой 1 кг. Под действием этого груза планка прогибается, но настолько незначительно, что заметить деформацию и оценить ее величину, хотя бы приблизительно, невозможно. Тогда груз снимают и под середину планки подставляют измеритель малых перемещений на штативе так, чтобы верхний его штифт коснулся планки (рис. 2-105). Шкалу измерителя приводят к нулю и вновь нагружают планку. Стрелка измерителя отклоняется от начального положения на несколько делений.

Учащимся не объясняют здесь подробности устройства прибора, но сообщают его основную характеристику: предел измерений — 10 мм, количество делений по шкале — 100, цена деления — 0,01 мм, допустимая погрешность — 5%. Показывают также, что прибор позволяет производить измерения растяжений и сжатий. После этого опыт повторяют и убеждаются, что при неизменных условиях опыта величина прогиба остается постоянной.

Далее следует познакомить учащихся с другим подобным измерительным прибором — техническим индикатором часового типа (рис. 2-106), с которым им придется иметь дело в практикуме.

Пользуясь эпископом, показывают прибор на экране. Нажимая конец стержня и отпуская его, обращают внимание, что стержень под воздействием находящейся внутри корпуса пружины возвращается в исходное положение. Затем показывают циферблат и движение стрелок при перемещении стержня в ту и другую сторону. Определяют цену деления и демонстрируют способ установки на нуль.

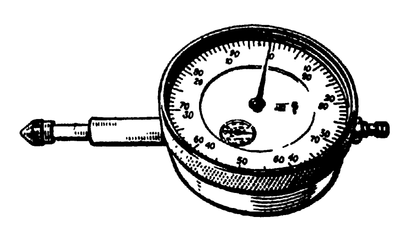


Рис. 2-106. Индикатор часового типа.

2. Для демонстрации «светового рычага» пользуются той же планкой и на ее концах устанавливают два плоских зеркала, как

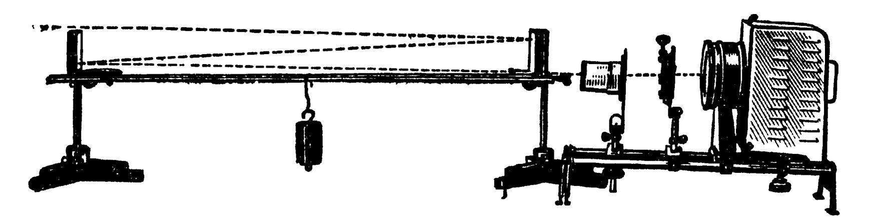


Рис. 2-107. «Световой рычаг».

показано на рисунке 2-107. Световой пучок от проекционного аппарата, отразившись дважды от зеркал, образует на стене класса световой «зайчик» — изображение малого отверстия диафрагмы или щели, помещенной у конденсора.

При подвешивании груза (такого же, как в первом опыте) к середине планки последняя прогибается, причем каждое из зеркал наклоняется на некоторый угол α. Очевидно, что при этом световой пучок, отраженный от левого зеркала, отклоняется на угол 2α, а отраженный от правого зеркала — на угол 4α и смещение светового пятна на стене будет весьма значительным. Уменьшая нагрузку на линейку, показывают, что этим способом можно обнаруживать очень малые деформации.

Для этой установки надо подобрать зеркала с хорошей зеркальной поверхностью, чтобы изображение диафрагмы или щели на стене не было размытым. Зеркала должны устойчиво размещаться на планке.

ОПЫТ 100. ПРЕДЕЛ УПРУГОСТИ И ОСТАТОЧНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ

Оборудование: 1) линейка стальная 25 см, 2) полоски такого же размера — одна из алюминия и две-три из стекла, 3) штатив универсальный.

В лапке штатива закрепляют вертикально алюминиевую полоску, а под ней с помощью второго штатива устанавливают кольцевую муфту (рис. 2-108). Отогнув слегка конец полоски, отпускают его и показывают, что полоска вернулась в прежнее положение, отмеченное кольцевой муфтой. Постепенно увеличивают изгиб, добиваясь получения заметной остаточной деформации. Эта часть опыта позволяет дать понятие о пределе упругости как наименьшей упругой силе, после которой появляется остаточная деформация.

Далее, вызывая упругие силы, значительно превышающие предел упругости, показывают увеличение остаточной деформации.

Повторяют опыт со стальной линейкой и убеждаются, что последняя обладает значительно бóльшим пределом упругости. Заменив стальную линейку стеклянной полоской, показывают, что предел прочности у стеклянной полоски при обычной температуре меньше предела упругости: полоска ломается, не давая совсем остаточной деформации.

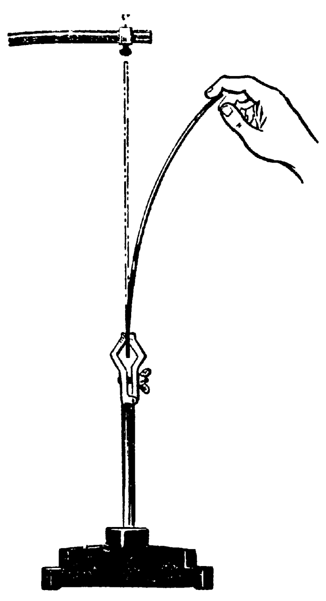


Рис. 2-108. Демонстрация предела упругости и остаточной деформации.

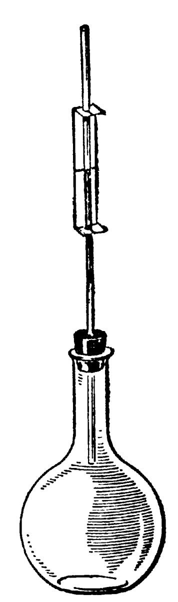


Рис. 2-109. Прибор для демонстрации упругой деформации стекла.

ОПЫТ 101. УПРУГАЯ ДЕФОРМАЦИЯ СТЕКЛЯННОЙ КОЛБЫ

Оборудование: 1) колба литровая плоскодонная, 2) трубка стеклянная диаметром около 5 мм и длиной 40—50 см, 3) пробка резиновая или корковая.

Этот опыт показывают на заранее подготовленном простом, самодельном приборе. Стеклянную трубку указанных выше размеров плотно вставляют в отверстие пробки, тщательно подобранной к колбе. В колбу наливают доверху воду, подкрашенную несколькими каплями флюоресцина или чернилами от авторучки. Пробку с трубкой плотно вставляют в горлышко колбы и следят за тем, чтобы в последней не оставался воздух. При этом вода частично вытесняется в трубку и поднимается приблизительно до половины ее высоты.

Чтобы можно было фиксировать уровень воды в трубке, на нее надевают небольшой белый экранчик из полоски плотной бумаги, который изготавливают так. На концах полоски вырезают отверстия по диаметру трубки и концы с отверстиями сгибают. Затем посередине полоски наносят тушью отчетливую черту и надевают полоску на трубку, как показано на рисунке 2-109.

Опыт заключается в следующем. Подводят экранчик чертой к уровню воды в трубке и берут колбу в руки. Не нажимая на колбу пальцем, обращают внимание учащихся, что небольшое нагревание прибора от руки не вызывает заметного изменения уровня. Затем

слегка нажимают пальцем на дно колбы и демонстрируют, как одновременно с нажимом уровень воды в трубке заметно повышается, а когда дно отпускают, то уровень восстанавливается.

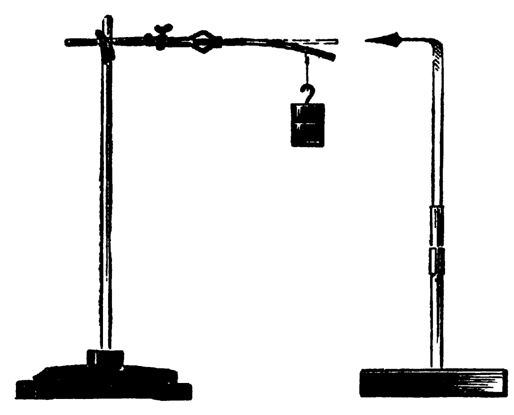


Рис. 2-110. Демонстрация изменения упругости металлической пластинки при механической и тепловой обработке.

ОПЫТ 102. ИЗМЕНЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Оборудование: 1) пластинка латунная размером 140 × 8 × 1,5 мм, 2) отрезок плоской стальной пружины или стальной проволоки, 3) наковальня и молоток, 4) штатив универсальный, 5) гиря массой 1 кг наборная, 6) стрелка-отметчик, 7) газовая горелка или другой нагреватель, 8) тигельные щипцы.

Механическая и термическая обработка значительно изменяет внутреннюю структуру металлов. В связи с этим изменяются многие их свойства, в том числе и упругость, что легко показать на следующих опытах:

1. Подготовленную заранее латунную пластинку указанных выше размеров плотно зажимают в лапке штатива, как показано на рисунке 2-110. Высоту расположения конца пластинки над столом до нагрузки гирей (см. пунктирную линию на рисунке) замечают передвижной стрелкой на стойке. На свободный конец пластинки надевают петлю из крепкого тонкого шнура и подвешивают на него гирю. Чтобы петля не съезжала, по бокам пластинки делают напильником две зазубрины или немного загибают конец. Величину груза (около 3 Н) подбирают заранее так, чтобы он заметно прогибал пластинку и у нее появлялась некоторая остаточная деформация.

После этого пластинку вынимают из лапки, кладут на наковальню и быстрыми ударами молотка делают на всей ее площади так называемый наклеп. Удары надо наносить сравнительно легкие и так, чтобы поверхность оставалась ровной, без заметных глубоких бугров и впадин.

Снова зажимают пластинку в лапке штатива и опыт повторяют. Обращают внимание учащихся, что теперь пластинка стала более упругой: от той же гири она изогнулась, как и в первый раз, а после снятия нагрузки почти вернулась в исходное положение, т. е. до стрелки-отметчика.

2. Вместо латунной пластинки зажимают в лапке штатива пластинку приблизительно такого же размера из стали (отрезок

от плоской стальной пружины) и высоту ее расположения над столом замечают стрелкой. На конец пластинки, как в предыдущем случае, подвешивают гирю такого размера, чтобы пластинка значительно изгибалась, но без остаточной деформации. Вес груза подбирают заранее.

Вынимают пластинку из лапки, берут ее тигельными щипцами и сильно прогревают в пламени газовой горелки или другого источника тепла.

Когда пластинка остынет, опыт повторяют. Обращают внимание учащихся, что при нагревании стальная пластинка заметно потеряла свою упругость: от нагрузки прежней гирей у нее появилась значительная остаточная деформация, так как конец пластинки расположился ниже стрелки-отметчика.

Следует иметь в виду, что не всякая стальная пластинка подходит для описанного опыта. Некоторые сорта стали после отжига и сравнительно быстрого остывания на воздухе почти не теряют своей упругости. Поэтому надо заранее подобрать подходящий материал и вырезать из него пластинку для опытов или воспользоваться отрезком толстой стальной проволоки. Постановка и проведение опыта при этом не меняются.

В качестве отметчика удобно воспользоваться столиком, который входит в комплект проекционного аппарата. Столик переворачивают вверх стержнем и на него насаживают стрелку, которая может перемещаться по высоте с помощью простой жестяной муфты.

§ 7. ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ТЕЛ

ОПЫТ 103. РАСШИРЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ НАГРЕВАНИИ И ВЫДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЕЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

Оборудование: 1) проволока железная диаметром 0,4—0,5 мм и длиной приблизительно 150 см, 2) блок на стержне, 3) груз весом около 1,5 Н, 4) штатив универсальный, 5) провода соединительные — 3 шт., 6) автотрансформатор ЛАТР-1 или реостат на 20—40 Ом, 5А, 7) зажим винтовой.

Для демонстрации опыта берут железную проволоку указанных выше размеров и закрепляют один ее конец в зажим изолирующего стержня, установленного на треноге универсального штатива (рис. 2-111). Другой конец проволоки перебрасывают через блок,

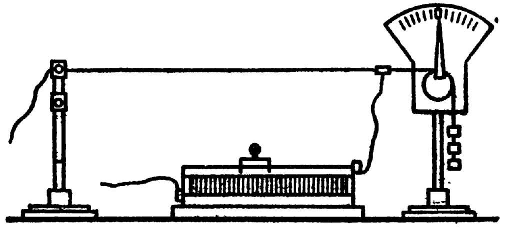


Рис. 2-111. Установка для демонстрации выделения теплоты при изменении кристаллической структуры железа.

зажатый во втором изолирующем стержне на треноге или в штативе. К проволоке подвешивают небольшой груз — одну-две гирьки с крючками из набора по механике. Проволоку присоединяют к осветительной сети напряжением 127 или 220 В через реостат с полным сопротивлением 20 или 40 Ом соответственно напряжению сети. Реостат должен быть рассчитан на ток до 5 А. Можно обойтись и без реостата, если воспользоваться автотрансформатором.

Провода, подводящие ток, надо присоединить, как показано на рисунке, к зажиму изолирующего штатива и к подвижному винтовому зажиму, закрепленному на железной проволоке вблизи блока. При длине нагреваемого участка 130 см и диаметре 0,4 мм проволока накаляется докрасна током 4,2 А под напряжением 65 В.

Индикатором, по которому можно следить за удлинением проволоки, служит большая бумажная стрелка, приклеенная к блоку кусочком пластилина. Сзади стрелки полезно поместить шкалу с крупными, четкими делениями.

Когда установка подготовлена, включают напряжение и постепенно увеличивают ток, медленно доводя проволоку до красного каления. При этом стрелка повертывается вправо, показывая значительное удлинение проволоки от нагревания. Затем ток постепенно уменьшают и наблюдают, как проволока укорачивается: стрелка почти полностью возвращается в исходное положение.

Далее опыт повторяют, но, когда проволока накалится, ток сразу выключают, т. е. дают возможность проволоке свободно остывать, и внимательно следят за стрелкой. Сначала она отклоняется влево, потом вдруг останавливается, делает небольшое, но хорошо заметное отклонение вправо и снова повертывается влево, пока проволока не остынет. Очевидно, отклонение стрелки вправо свидетельствует о дополнительном временном нагревании проволоки.

Объясняют это явление. При остывании железа, нагретого предварительно докрасна, наступает момент, когда при некоторой температуре происходит сравнительно быстрое изменение кристаллической структуры железа. При этом частично освобождается внутренняя энергия межатомных связей. Выделение энергии проявляется в непродолжительной задержке остывания железа и даже в его кратковременном нагревании, что и наблюдается в описанном опыте.

ОПЫТ 104. ДЕМОНСТРАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Оборудование: 1) прибор для определения коэффициента линейного расширения, 2) электрическая плитка или другой нагреватель, 3) парообразователь лабораторный, 4) эпидиаскоп, 5) индикатор часового типа, 6) линейка измерительная.

Цель опыта состоит в том, чтобы ознакомить учащихся с устройством прибора, его установкой и методом определения коэффициента линейного расширения. Все это будет служить предварительной подготовкой к предстоящему практикуму.

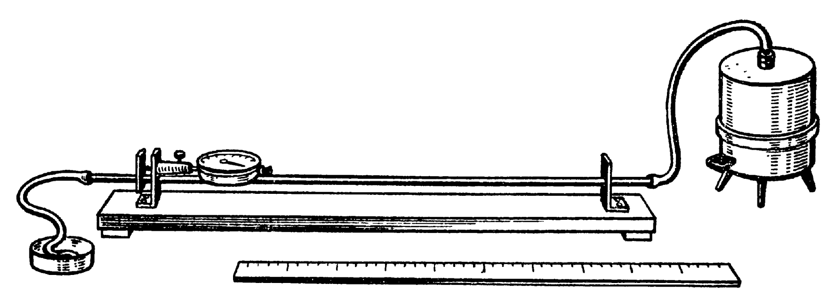


Рис. 2-112. Установка для определения коэффициента линейного расширения твердых тел.

Сначала показывают полную установку в собранном для работы виде (рис. 2-112). Объясняют, что для нагревания твердых тел в этой установке пользуются парообразователем. Пар по паропроводу направляется в испытуемый образец и быстро нагревает его. Сконденсированная вода по резиновому патрубку отводится в кристаллизатор.

Затем обращают внимание учащихся на устройство прибора и проецируют на экран рисунок 2-113.

Испытуемый образец (латунная трубка с прочно припаянной прямоугольной пластинкой *а* на одном конце) продевают через отверстия двух опор *б* и *в*, укрепленных на подставке. Правая опора имеет винтовой зажим, которым закрепляется трубка, а левая — небольшую муфту с винтовым зажимом для закрепления индикатора часового типа.

Если через трубку пропускать пар, то она будет удлиняться, а пластинка — перемещаться относительно левой неподвижной опоры. Расстояние, на которое переместится пластинка, покажет удлинение испытуемого образца при нагревании. Обращают внимание учащихся на то, как производят измерения.

Перед опытом измеряют линейкой начальную длину трубки (от винтового зажима стойки *в* до пластинки *а*) и закрепляют в муфте индикатор так, чтобы его конец нажимал на пластинку трубки и давал некоторые показания (был «взведен»). Поворачивая подвижное кольцо оправы индикатора, подводят нулевое деление шкалы под стрелку. Затем прибор соединяют с парообразователем, нагревают трубку паром до 100 °С и снимают показания индикатора, которые будут представлять собой удлинение трубки. Если учащиеся не встречались раньше с индикато-

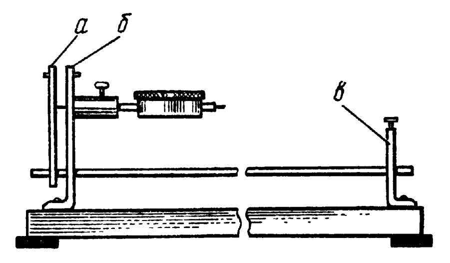


Рис. 2-113. Устройство прибора для определения коэффициента линейного расширения.

ром часового типа, то их надо ознакомить с этим прибором так, как это описано в опыте 99.

Следует иметь в виду, что описанный прибор позволяет вместо индикатора измерять удлинение с помощью микрометра.

В заключение полезно дать учащимся задачу для расчета коэффициента линейного расширения, связанную с рассматриваемым прибором. Условие задачи должно содержать конкретные данные, которые учителю необходимо получить заранее, проделав опыт с описанным прибором при подготовке к уроку.

ОПЫТ 105. СИЛА СЖАТИЯ, РАЗВИВАЕМАЯ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СТЕРЖНЯ

Оборудование: 1) прибор для демонстрации силы сжатия, 2) штатив универсальный с кольцом и муфтой, 3) газовая горелка или керогаз, 4) кювета для работы с жидкостями, 5) стакан с холодной водой, 6) полотенце.

Прибор (рис. 2-114) состоит из массивной чугунной подставки с пазами, вкладываемого в них железного стержня и нескольких коротких чугунных стерженьков-закладок. На одном конце стержня сделано круглое отверстие для закладки, а на другом — нарезка, на которую навинчивается гайка с рукояткой. Для удобства на стержень со стороны резьбы надевают металлическую шайбу.

Опыт заключается в следующем. Хорошо нагретый железный стержень вкладывают в пазы подставки. В отверстие стержня вставляют чугунную закладку и плотно зажимают стержень с помощью гайки с рукояткой. Затем дают возможность стержню свободно остывать на воздухе или поливают на него холодную воду. При остывании в стержне развиваются настолько большие силы сжатия, что чугунная закладка ломается со слабым глухим звуком.

Следует иметь в виду, что успех опыта при достаточном нагревании стержня в значительной степени зависит от качества чугунных закладок. Поэтому при подготовке опыта полезно предварительно испытать закладку следующим способом: вставить ее в отверстие холодного стержня, вложенного в подставку, и наверты-

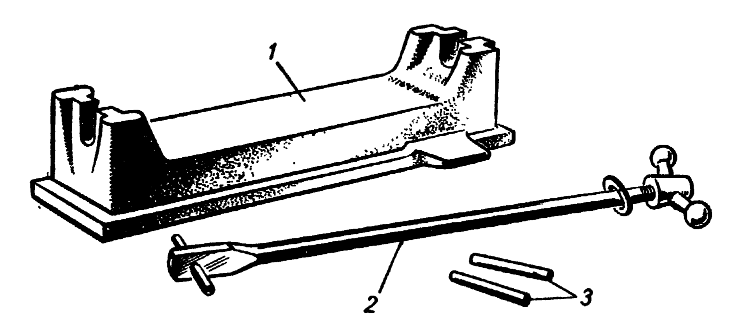


Рис. 2-114. Прибор для демонстрации силы сжатия:
1 — подставка; *2* — железный стержень; *3* — чугунная закладка.

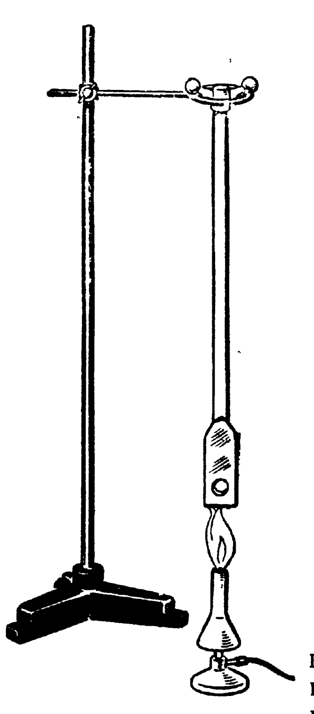


Рис. 2-115. Нагревание стержня перед опытом.

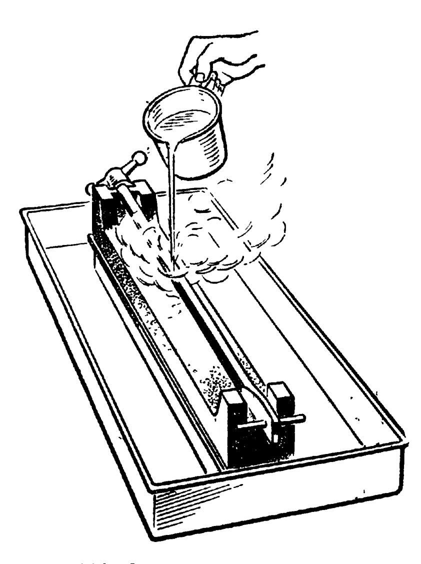


Рис. 2-116. Охлаждение стержня водой.

вать одной рукой гайку на стержень до отказа, приложив некоторое усилие. Во время завертывания гайки приходится левой рукой поддерживать подставку, для чего у нее сделан сбоку небольшой прилив. Если закладка при этом не сломается и заметно не согнется, то она пригодна для опыта.

Стержень для нагревания лучше всего подвешивать над пламенем горелки, как показано на рисунке 2-115. Сделать это следует с самого начала урока или до урока, чтобы к моменту демонстрации нагревание было безусловно достаточным. Источник тепла должен быть сравнительно мощным — газовая горелка, керогаз или примус; простая лабораторная спиртовка здесь совсем непригодна. Обычно стержень прогревается весь, вместе с ручкой, поэтому снимать его с огня надо тряпкой или полотенцем, сложенным несколько раз.

Чтобы опыт протекал быстрее, прибор нужно поставить для демонстрации на большую кювету, приспособленную для работы с жидкостями, и поливать горячий стержень тонкой струей холодной воды из стакана или кружки (рис. 2-116).

Иногда попадается очень прочная закладка, которая ломается при больших напряжениях, и тогда ее части разлетаются от стержня на 1—2 м. Поэтому при сборке установки на демонстрационном столе прибор лучше повернуть закладкой к аудитории. При таком расположении половинки сломанной закладки разлетаются в стороны вдоль стола и не могут попасть в учащихся.

ОПЫТ 106. НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ РАСШИРЕНИЕ КВАРЦА ПРИ НАГРЕВАНИИ

Оборудование: 1) небольшой кварцевый и стеклянный тигельки (или одинаковые отрезки кварцевой и стеклянной трубок), 2) газовая горелка или керогаз, 3) щипцы тигельные, 4) стакан химический с холодной водой.

При равномерном нагревании того или иного кристаллического вещества в нем возникают напряжения. Так, при быстром нагревании внешние слои расширяются, растягивают внутренние части и сами находятся под их действием в напряженном состоянии. При быстром же охлаждении, наоборот, внешние слои сжимаются, сдавливают слои, лежащие ниже, а сами оказываются растянутыми ими.

Подобные напряжения у стекла, коэффициент линейного расширения которого приблизительно равен $8 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}, часто приводят к растрескиванию стекла. Кварц же, имеющий коэффициент линейного расширения приблизительно в десять раз меньший, т. е. $6 \cdot 10^{-7}$ K^{-1}, при таких условиях остается целым. Это можно показать на следующем опыте.

С помощью тигельных щипцов вносят небольшой тонкостенный стеклянный тигелек (или отрезок стеклянной трубки) в пламя газовой горелки или керогаз. Чтобы тигелек при этом не треснул, его быстро повертывают то одной, то другой стороной. Когда тигелек накалится докрасна, его быстро переносят к стакану и опускают или бросают в холодную воду. Тигелек с шипением растрескивается, а потом и распадается на много мелких частей, которые тут же показывают учащимся.

После этого берут щипцами такой же тигелек из плавленого прозрачного или дымчатого кварца (или отрезок кварцевой трубки). Не опасаясь, что он растрескается, нагревают кварц в пламени горелки до красного каления и затем быстро опускают в холодную воду.

Вопреки ожиданиям учащихся, которые обычно с большим интересом следят за этим опытом, кварцевый тигелек остается целым.

Указывают, что одной из основных причин того, что кварц при быстром нагревании и охлаждении не растрескивается, является его очень малое расширение по сравнению со стеклом. На классной доске записывают коэффициент линейного расширения стекла и плавленого кварца.

В заключение полезно остановить внимание учащихся на так называемом жаропрочном стекле, освоенном в настоящее время промышленностью. По своим свойствам оно близко к кварцу, но дешевле его, поэтому применяется для изготовления предметов домашнего обихода. Из такого стекла делают, например, сковороды.

ОПЫТ 107. УСТРОЙСТВО И ДЕЙСТВИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕРМОРЕГУЛЯТОРА

Оборудование: прибор с биметаллической пластинкой или отдельные приборы для установки: 1) штатив универсальный, 2) штатив изолирующий, 3) патрон электрический на подставке с лампой, 4) биметаллическая пластинка.

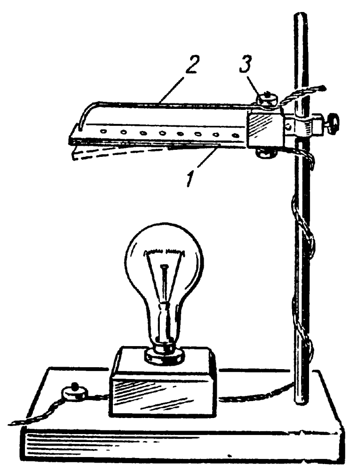


Рис. 2-117. Модель терморегулятора:
1 — биметаллическая пластинка; *2* — металлический крючок; *3* — зажимы.

Прежде чем показывать в классе описанный ниже прибор или установку, надо напомнить учащимся известный опыт с биметаллической пластинкой, которая при нагревании на спиртовке или газовой горелке заметно изгибается[1].

Принцип действия биметаллического терморегулятора весьма наглядно можно продемонстрировать на самодельном приборе (рис. 2-117).

На основании невысокого деревянного штатива укрепляют электрический патрон с лампочкой, которая служит источником тепла и индикатором тока в цепи. По стойке может перемещаться вверх и вниз биметаллическая пластинка *1* размером 14 × 1 см, склепанная из двух тонких полосок — латунной и железной.

С помощью крючка *2* из толстой медной или железной проволоки, оканчивающейся зажимом *3*, и одинарнóго шнура пластинка соединяется последовательно с электрической лампой 127—220 В, мощностью 150—220 Вт.

Во время включения прибора в сеть левый конец пластинки прижат к изогнутому концу проволочного крючка. Цепь в этом случае оказывается замкнутой, и лампочка загорается. Когда же она достаточно нагреет пластинку, последняя изогнется вниз, как показано пунктиром на рисунке.

Теперь электрическая цепь разомкнется, лампочка погаснет и нагревание прекратится. По мере остывания пластинка будет выпрямляться и через некоторое время вновь замкнет электрическую цепь. Лампочка опять загорится, и все явление будет периодически повторяться.

Таким образом, учащиеся могут наблюдать, как электрическая лампа автоматически загорается и гаснет, причем частота миганий может легко регулироваться изменением высоты расположения биметаллической пластинки над лампой, что также надо продемонстрировать в классе.

---

[1] Демонстрационные опыты по физике в 6—7 классах средней школы. Под ред. А. А. Покровского. М., 1974, с. 45.

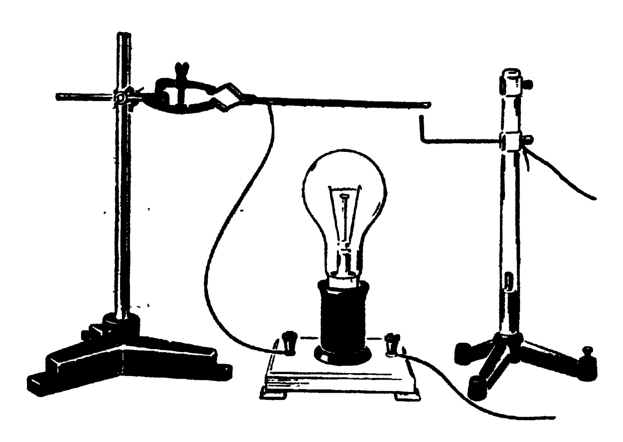


Рис. 2-118. Установка для демонстрации действия терморегулятора.

Если в физическом кабинете имеется отдельная биметаллическая пластинка и изолирующий штатив, то можно не делать прибора, а собрать наглядную установку по рисунку 2-118. Эта установка работает так же, как и описанный выше прибор.

После опыта полезно показать учащимся термостат и схему его устройства. Схему следует начертить на классной доске или спроецировать с помощью эпидиаскопа на экран.



ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

К оборудованию, обеспечивающему проведение необходимых опытов по электричеству, относятся: источники постоянного тока, регуляторы и усилители тока, демонстрационные электроизмерительные приборы и индикаторы. С этими приборами необходимо ознакомиться заранее, до подготовки и проведения опытов.

К источникам тока относится электрораспределительный щит ЩЭ, батарея щелочных аккумуляторов 3-НКН-10. Кроме того, источником постоянного тока во многих опытах служит универсальный выпрямитель ВУП и высоковольтный преобразователь напряжения «Разряд-1».

Из регуляторов напряжения заслуживают внимания автотрансформаторы ЛАТР-1, ЛАТР-2 и удобный школьный регулятор напряжения РНШ, а из усилителей широкое распространение в школе нашел малогабаритный, переносный усилитель низкой частоты.

Кроме общеизвестных демонстрационных электроизмерителей— амперметра и вольтметра Главучтехпрома, промышленностью освоен для школы переносный гальванометр М1032 высокой чувствительности (см. рис. 2-2).

Из других сравнительно новых приборов следует указать осциллограф ОЭШ-61 и школьный звуковой генератор ГЗШ-63, которые также находят свое применение в опытах по электричеству.

Опыты по теме «Электрический ток в полупроводниках» проводятся главным образом с комплектом полупроводниковых приборов. Комплект позволяет демонстрировать основные электрические свойства полупроводников и некоторые наиболее важные технические применения полупроводниковых приборов.

В состав комплекта входят шесть приборов (рис. 3-1). Все они смонтированы на отдельных панелях размером 100 × 150 мм и соединены монтажными проводниками с универсальными зажимами. К каждой панели прикреплен стержень для установки прибора в подставке или закрепления в штативе.

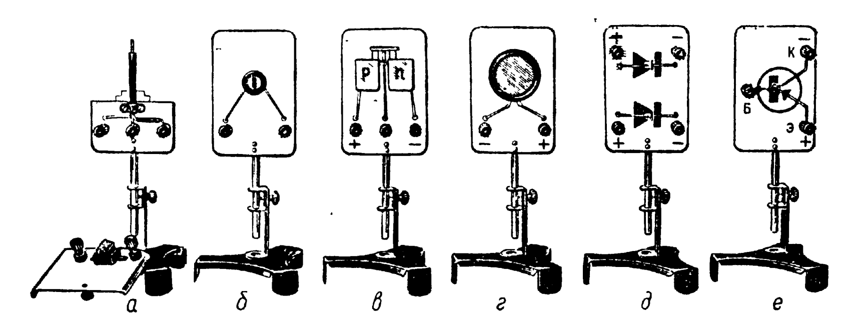


Рис. 3-1. Комплект полупроводниковых приборов:
а — термистор; *б* — фоторезистор; *в* — термоэлемент; *г* — фотоэлемент; *д* — диоды; *е* — транзистор

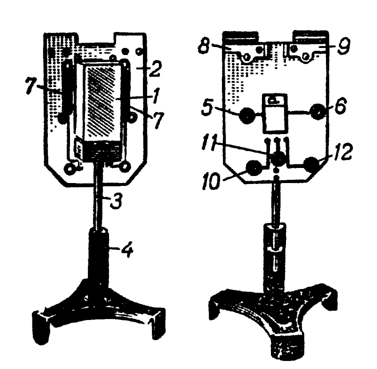


Рис. 3-2. Поляризованное реле РП-5 на подставке.

Из вспомогательных приборов довольно часто применяют поляризованное реле РП-5 на подставке. Общий вид этого реле и детали монтажа показаны на рисунке 3-2. Реле *1* укреплено на изолирующей панели *2* и при помощи металлического стержня *3* устанавливается на подставке 4.

Реле *1* состоит из постоянного магнита, электромагнита, контактной системы и двух соединительных колодок с выводами. Все детали закрыты алюминиевым чехлом.

Электромагнит реле имеет две отдельные обмотки с сопротивлением около 900 Ом каждая. Обмотки соединены между собой последовательно. Концы обмоток подведены к двум винтовым зажимам *5* и *6*, расположенным на обратной стороне монтажной панели. Обмотки реле соединены также через высокочастотные дроссели *7* с двумя парами пружинящих зажимов *8* и *9*, предназначенных для включения приемного диполя и полупроводникового детектора. Выводы от контактной системы реле подведены к трем винтовым зажимам *10*, *11* и *12*.

Реле РП-5 трехпозиционное, его якорь может занимать три различных положения: два крайних и нейтральное; в нейтральном положении при обесточенном реле все контакты разомкнуты. В большинстве же описываемых опытов реле работает как двухпозиционное, т. е. при отсутствии тока в обмотке реле его якорь замыкает один из контактов. В двухпозиционное положение реле переводится перемещением контактных винтов; оно обладает быстродействием и высокой чувствительностью. Ток срабатывания его

может изменяться от 0,058 до 0,24 мА, в зависимости от регулировки контактов.

При установке реле на наибольшую чувствительность просвет между контактами должен составлять несколько десятых долей миллиметра. Контакты реле можно нагружать током не более 0,5 А.

При изучении полупроводников в средней школе, кроме приборов, важное значение имеют следующие учебные таблицы, содержащие необходимый иллюстративный материал к рассказу учителя[1]: 1) термистор; 2) фоторезистор; 3) диод; 4) фотоэлемент; 5) термоэлемент; 6) транзистор. Эти таблицы применяются при демонстрации опытов, описанных в § 6 этой главы.

На этих таблицах крупным планом изображено устройство полупроводниковых приборов, которые входят в демонстрационный комплект. Вместе с устройством приборов на таблицах даны их условные обозначения, схемы действия и основные характеристики, выполненные в виде графиков. Графики снабжены крупной координатной сеткой. Это позволяет применять их на уроках при решении графических задач.

Почти на всех таблицах как бы вторым планом дано изображение внешнего вида разнообразных полупроводниковых приборов и их практического применения.

Методика применения таблиц подробно раскрывается далее при описании опытов.

§ 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

ОПЫТ 108. ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ И ПРОВОДНИКОВ

Оборудование: 1) штатив изолирующий с легко вращающейся насадкой, 2) палочки: эбонитовая, из органического стекла, металлическая на изолирующей ручке, 3) кусок меха и листовой резины, 4) различные тела: деревянная рейка, металлическая трубка или стержень, пластмассовая линейка, 5) склянка с тубусом внизу и краном, 6) подъемный столик, 7) кювета для стока воды.

С целью повторения, расширения и углубления начальных сведений об электричестве, известных учащимся из курса VII класса, необходимо воспроизвести некоторые явления и дополнить их новыми наблюдениями.

Явление электризации надо продемонстрировать с различными телами. Наэлектризованную эбонитовую палочку или палочку из органического стекла подносят к деревянной рейке (рис. 3-3). Рейку помещают в углубление самодельной легко вращающейся насадки, установленной на острие в изолирующем штативе (насадка показана на рисунке отдельно). Наблюдают притяжение рейки к палочке. Затем заменяют рейку пластмассовой линейкой,

---

[1] См.: Буров В. А., Лисенкер Г. Р., Ушаков М. А. Таблицы по физике для средней школы. М., вып. III, 1965; вып. IV, 1969.

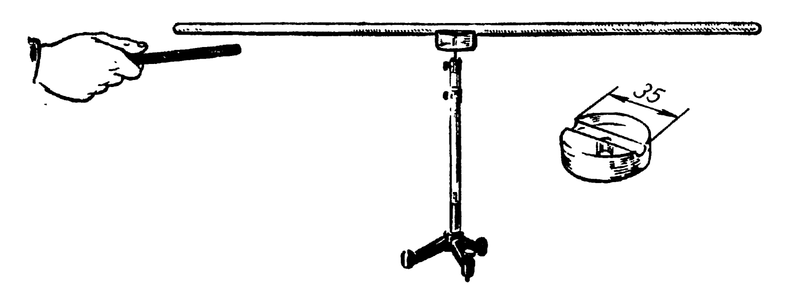


Рис. 3-3. Притяжение рейки наэлектризованной палочкой.

металлической трубкой и показывают их притяжение к различным наэлектризованным палочкам: эбонитовой, стеклянной и металлической. Благодаря удобной смене и легкой установке различных тел на вращающейся насадке, можно этот опыт за короткое время выполнить в разнообразных вариантах. Обращая внимание на электризацию одновременно обоих тел, демонстрируют притяжение рейки как к палочке из органического стекла, наэлектризованной о резиновую пластину, так и к резине.

Чтобы показать притяжение струи воды к наэлектризованной палочке, собирают простую установку по рисунку 3-4, но без электрофорной машины (последняя необходима для следующего опыта). Пользуясь краном, получают достаточно заметную, но не слишком сильную струю воды и подносят к ней сверху и несколько сбоку хорошо наэлектризованную палочку. Наблюдают, как струя, притягиваясь, изгибается в сторону наэлектризованной палочки.

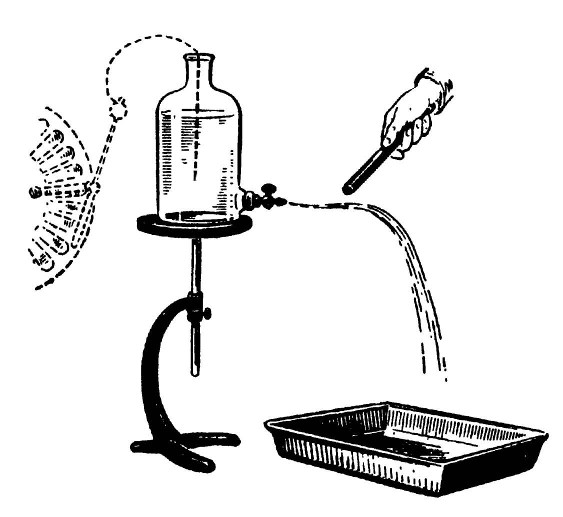


Рис. 3-4. Притяжение струи воды к наэлектризованной палочке.

ОПЫТ 109. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАЭЛЕКТРИЗОВАННЫХ ТЕЛ

Оборудование: 1) штатив изолирующий с легко вращающейся насадкой, 2) палочки: эбонитовая, из органического стекла, металлическая на изолирующей ручке, 3) кусок меха и листовой резины, 4) различные тела: деревянная рейка, металлическая трубка или стержень, пластмассовая линейка, 5) склянка с тубусом внизу и краном, 6) электрофорная машина, 7) подъемный столик, 8) кювета для стока воды, 9) разрядник на изолирующей ручке, 10) проводник соединительный.

Пользуясь установкой предыдущего опыта с легкоподвижной насадкой на изолирующем штативе (рис. 3-3) и минимальным набором палочек: эбонитовой, стеклянной и металлической с ручкой из органического стекла, демонстрируют взаимодействие наэлектризованных тел (притяжение и отталкивание) и устанавливают два рода электрических зарядов. Например, для демонстрации взаимного отталкивания помещают на насадку наэлектризованную палочку из органического стекла и к ней подносят наэлектризованную ручку от металлической палочки.

Взаимное притяжение легко показать, воспользовавшись наэлектризованными эбонитовой и стеклянной палочками.

В заключение полезно проделать опыт со струей воды и показать ее электризацию. С этой целью опускают в воду один конец длинного проводника, соединенного с кондуктором электрофорной машины, как показано на рисунке 3-4 пунктиром. Машину устанавливают на достаточном расстоянии от струи.

Сначала пускают воду без электризации и обращают внимание учащихся на характер струи, у которой лишь в самом конце заметно легкое разбрызгивание. Затем медленно приводят в действие машину и наблюдают, как струя почти у самого выхода начинает разбиваться и далее широко разбрызгиваться в результате отталкивания одноименно заряженных капель. Для лучшей видимости можно струю или подсветить снизу небольшой лампой или спроецировать на экран.

Если после этого нейтрализовать заряды, соединив разрядником кондукторы машины, то будет хорошо заметно, как струя вновь приобретает прежний вид.

ОПЫТ 110. УСТРОЙСТВО И ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМЕТРА

Оборудование: 1) электрометры демонстрационные — пара, 2) проводник соединительный на изолирующей ручке, 3) палочки для электризации с куском меха, 4) осветитель для теневого проецирования и подсвета.

Электрометр служит для обнаружения электрического заряда, определения его знака, измерения разности потенциалов, а также для демонстрации опытов по электростатической индукции, электроемкости и в ряде других опытов. Электрометр (рис. 3-5) представляет собой цилиндрический застекленный с обеих сторон корпус *1*, укрепленный на подставке *2*. Через изолирующую втулку *3* внутрь

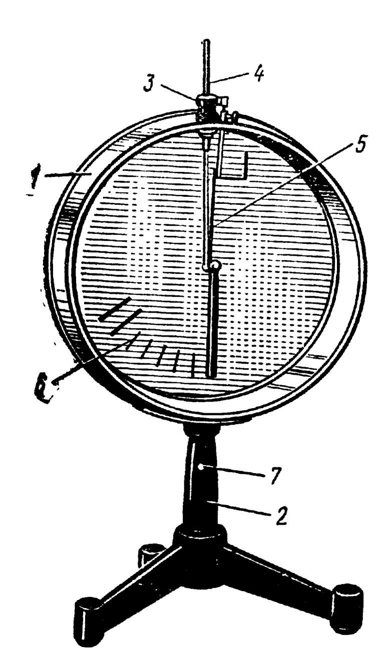


Рис. 3-5. Электрометр демонстрационный.

корпуса проходит металлическая трубка *4*, заканчивающаяся стержнем с установленной на нем стрелкой-указателем *5*. Стрелка хорошо выделяется на фоне заднего матового стекла, на котором нанесена шкала *6* с делениями[1]. Для соединения проводником металлического корпуса электрометра с землей служит отверстие *7* в верхней части подставки.

Для демонстрации действия электрометра электризуют палочку и заряжают ею электрометр. В результате отталкивания одноименных зарядов стрелка-указатель поворачивается на тот или иной угол в зависимости от величины сообщенного заряда.

При работе с электрометром следует иметь в виду, что при соприкосновении заряженной палочки со стержнем прибора электрический заряд переходит на стержень только с очень небольшого участка заряженной поверхности вокруг места соприкосновения. Поэтому для более эффективной передачи заряда не ограничиваются прикосновением, а несколько раз проводят палочкой по стержню, каждый раз поворачивая ее в руке. При передаче заряда с проводника достаточно одного прикосновения.

При медленном поднесении заряженной палочки к электрометру легко заметить, что стрелка начинает отклоняться, когда палочка еще не касается прибора, а находится на значительном расстоянии от стержня электрометра, т. е. наблюдается электростатическая индукция. Чтобы это явление преждевременно не отвлекало внимания учащихся от основной цели опыта, надо палочку подносить к электрометру быстрее.

Электрометры комплектуют в пары настроенными на одинаковую чувствительность, т. е. от одинаковых зарядов в обоих электрометрах указатели отклоняются на равные углы. Если же по каким-либо причинам чувствительность приборов окажется неодинаковой, то электрометры можно выверить следующим простым приемом. Заземлив корпусы приборов, соединяют верхние их стержни проводником и заряжают. У прибора, указатель которого отклонится на больший угол, снимают переднее стекло. Чтобы показания приборов были одинаковыми, нижний конец стрелки открытого

---

[1] Наблюдать за показаниями электрометра будет лучше, если воспользоваться подсветом матового стекла.

электрометра слегка нагружают. Для этого мягкой кисточкой, смоченной лаком (нитролак, спиртовой лак), аккуратно касаются нижнего конца стрелки. Лак на стрелку наносится в очень малых количествах, поэтому операцию эту следует проводить осторожно.

Затем вновь заряжают электрометры и наблюдают, насколько одинаковы углы отклонения указателей. Если показания одинаковы, то оставляют электрометр на некоторое время открытым. Когда лак высохнет, проверку повторяют и электрометр закрывают.

ОПЫТ 111. ОДНОВРЕМЕННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ РАЗНОИМЕННЫХ И РАВНЫХ ЗАРЯДОВ ПРИ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ

Оборудование: 1) электрометры с шаровыми кондукторами — 2 шт., 2) пластинки для электризации, 3) разрядник на изолирующей ручке.

При электризации соприкосновением (трением) заряжаются оба тела равными и разноименными зарядами. Это можно наглядно показать, если воспользоваться двумя пластинками для электризации (эбонитовой и из органического стекла) и электрометром с большим полым шаровым кондуктором.

Сначала вносят в полый шар незаряженные пластинки поочередно и убеждаются, что электрометр не обнаруживает каких-либо зарядов. Затем электризуют пластинки, потерев одну о другую, и опять порознь вносят их внутрь шара. Теперь при внесении каждой пластинки стрелка электрометра отклоняется на одинаковый угол. На это обращают внимание учащихся.

Наконец, вносят в полость шара, не касаясь стенок, сразу обе пластинки (рис. 3-6, *а*). Электрометр не обнаруживает никакого заряда — стрелка не отклоняется. Если же удалить одну из пластинок, то стрелка опять отклонится, как и в первом случае.

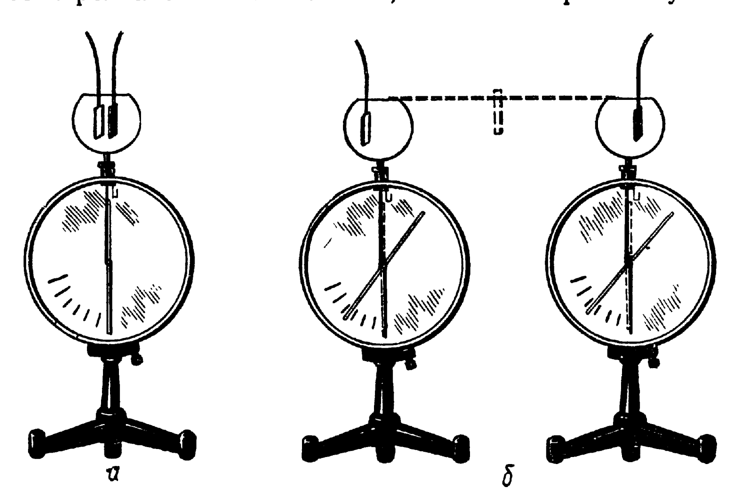


Рис. 3-6. Демонстрация одновременной электризации обоих тел.

Из опыта делают вывод, что заряды на обеих пластинках противоположны по знаку и равны по величине.

Опыт полезно продолжить, воспользовавшись двумя одинаковыми, предварительно выверенными электрометрами. Наэлектризованные друг о друга пластинки вносят в полые шары электрометров, как показано на рисунке 3-6, *б*. При этом стрелки электрометров отклонятся на одинаковый угол. После этого кондукторы электрометров соединяют проводником на изолирующей ручке и наблюдают, как стрелки возвращаются на нуль, что указывает на разноименность зарядов и на их равенство по величине.

ОПЫТ 112. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОДНИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВЕТЕР

Оборудование: 1) сетка Кольбе, 2) штатив изолирующий, 3) острие, 4) колесо Франклина, 5) свеча на подставке, 6) лапка с муфтой, 7) палочка эбонитовая или из органического стекла с куском меха, 8) электрофорная машина, 9) кондуктор конусообразный, 10) пробный шарик.

Гибкую металлическую сетку с бумажными лепестками устанавливают на демонстрационном столе, как показано на рисунке 3-7, и электризуют палочкой из органического стекла или эбонитовой. Лепестки на обеих сторонах сетки отклоняются одинаково. Это дает основание считать, что электрические заряды распределяются по всей поверхности равномерно.

Затем изгибают сетку различными способами и показывают, что всякий раз лепестки на вогнутых поверхностях сетки опадают, а на выпуклых поверхностях отклоняются сильнее (рис. 3-8).

После этого демонстрируют известный опыт с конусообразным кондуктором, перенося заряды с различных его точек пробным шариком на электрометр.

Особенно большая плотность электрических зарядов создается на остриях. Молекулы воздуха вблизи острия ионизируются, и

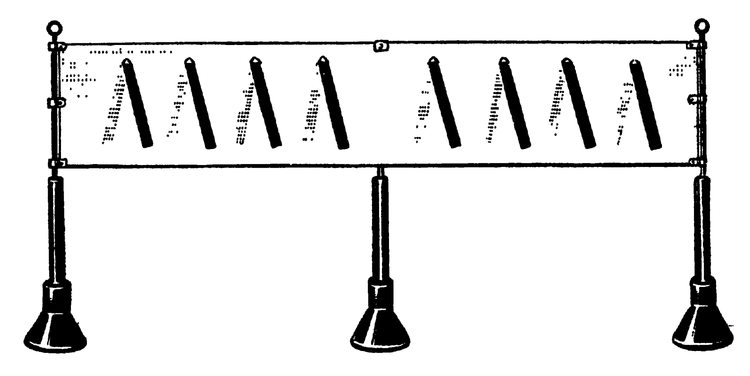


Рис. 3-7. Равномерное распределение электрических зарядов на плоской поверхности.

возникает поток ионов, направленный от острия. Чтобы продемонстрировать это явление, укрепляют на изолирующем штативе металлический стерженек с острием (из комплекта электрометров) и соединяют его с одним из кондукторов электрофорной машины (рис. 3-9). Против острия зажимают в лапке штатива подставку с зажженной свечой[1]. При вращении машины наблюдают «электрический ветер», который сильно отклоняет пламя свечи и может ее погасить.

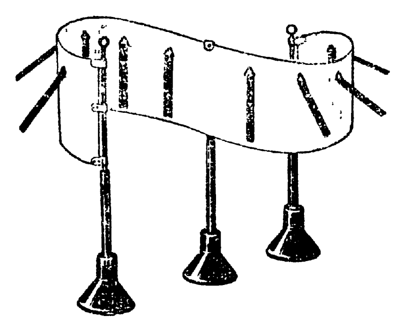


Рис. 3-8. Распределение электрических зарядов на выпуклой поверхности.

После этого заостренный стерженек переставляют в верхнее торцовое отверстие изолирующего штатива и, не отключая штатив от машины, насаживают на острие вертушку — колесо Франклина (рис. 3-9, вверху). При работе электрофорной машины колесо начинает быстро вращаться.

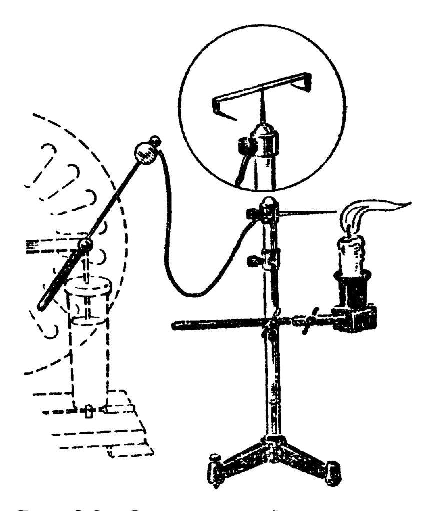


Рис. 3-9. «Электрический ветер»; вверху колесо Франклина.

ОПЫТ 113. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ИНДУКЦИЯ. ЭЛЕКТРОФОР

Оборудование: 1) электрометры с шаровыми кондукторами — 2 шт., 2) палочки: эбонитовая, стеклянная и металлическая на изолирующей ручке, 3) куски меха, кожи и листовой резины, 4) конденсатор разборный (электрофор), 5) разрядник на изолирующей ручке, 6) пружина от ведерка Архимеда, 7) штатив универсальный.

Задача данного опыта состоит в том, чтобы напомнить учащимся явление электростатической индукции, т. е. показать способ разделения электрических зарядов в проводнике путем внесения его в электрическое поле, и научить школьников применять это явление для определения знака неизвестного заряда. Такое определение часто требуется в других опытах.

Сначала показывают, как поднесение наэлектризованной палочки к незаряженному электрометру вызывает постепенное откло-

[1] Чтобы не испортить металлическим винтом изолирующий штатив, его обертывают бумагой в 3—4 слоя в том месте, где укрепляется муфта.

нение стрелки; при этом, чем ближе наэлектризованное тело, тем больше показания электрометра. Удаляют влияющий заряд и наблюдают нейтрализацию зарядов на электрометре.

После этого заряжают электрометр прикосновением, например, от палочки из органического стекла так, чтобы угол отклонения стрелки был небольшим. Затем электризуют эту палочку и палочку эбонитовую и снова поочередно приближают их к электрометру, не касаясь его. При этом наблюдают, что от стеклянной палочки угол отклонения стрелки электрометра увеличивается, а от эбонитовой уменьшается. Опыт повторяют, поменяв знак заряда электрометра. Таким образом раскрывают способ определения знака заряда.

Весьма важно показать, что при небольшой величине заряда на электрометре и хорошо заряженном противоположным знаком влияющем теле стрелка электрометра ведет себя иначе: сначала полностью опадает, а затем вновь отклоняется. Это обстоятельство необходимо учитывать при определении знака неизвестного заряда. Чтобы избежать ошибки, надо испытуемое тело подносить к электрометру медленно и издалека, следя за поведением стрелки электрометра в первый момент.

Применяя описанный способ определения знака заряда, можно показать одновременную электризацию обоих тел при трении. Для этого берут металлическую трубку за изолирующую ручку и 2—3 раза ударяют ею по куску резины. Затем прикасаются трубкой к одному электрометру, а резиной — к другому. Полученные таким образом заряды на электрометрах исследуют, как было описано выше, и убеждаются, что они противоположны по знаку.

Подобные испытания дали следующие результаты:

Электризуются при трении	О мех	О резину	О бумагу	О шелк
Эбонит	—	+	+	—
Органическое стекло	+	+	+	+
Обычное стекло	+	+	+	+
Сургуч	—	+	+	+
Металл	+	+	+	+

Чтобы продемонстрировать явление электростатической индукции, устанавливают на столе два незаряженных электрометра и соединяют их проводником (рис. 3-10). Затем к одному из них подносят хорошо наэлектризованную палочку. Стрелки электрометров отклоняются на одинаковый угол. За изолирующую ручку снимают проводник, после чего удаляют палочку. Оба электрометра оказываются заряженными.

При исследовании знаков их зарядов получается, что электрометр, расположенный ближе к влияющей палочке, зарядился противоположно ей по знаку, а электрометр удаленный — одинаково

с зарядом палочки. Если теперь соединить электрометры проводником, то происходит полная нейтрализация зарядов.

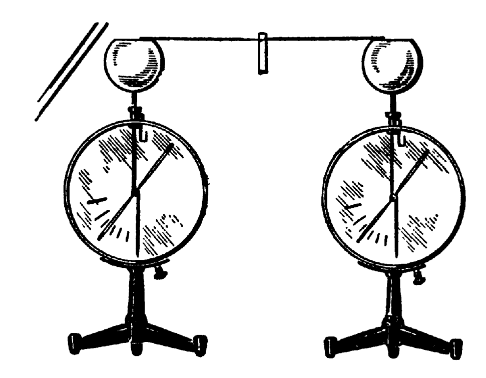


Рис. 3-10. Зарядка электрометров через влияние.

Этот опыт можно провести и с одним электрометром (рис. 3-11). Для этого к шару незаряженного электрометра подносят заряженную палочку. Стрелка электрометра отклоняется. Прикасаются к шару пальцем. Стрелка опадает. Отнимают от шара палец и после этого удаляют палочку. Стрелка электрометра отклоняется, указывая на присутствие заряда.

Явление электростатической индукции можно использовать для многократного разделения зарядов при помощи электрофора. Прибор собирают из двух пластин: одна из диэлектрика (эбонит или органическое стекло), другая — в виде металлического диска с изолирующей ручкой (рис. 3-12).

Положив пластину на демонстрационный стол, тщательно электризуют ее куском меха или бумаги. Затем кладут на пластину диск, на поверхности которого, обращенной к пластине, по индукции наводится противоположный заряд (рис. 3-12, *а*).

Не снимая диска, касаются рукой его верхней поверхности и тем самым нейтрализуют одноименный заряд. Убрав руку, снимают за изолирующую ручку диск, который оказывается заряженным через влияние.

Заряд на диске можно обнаружить по искре, которая со слабым треском проскакивает при поднесении к диску пальца. Искра до-

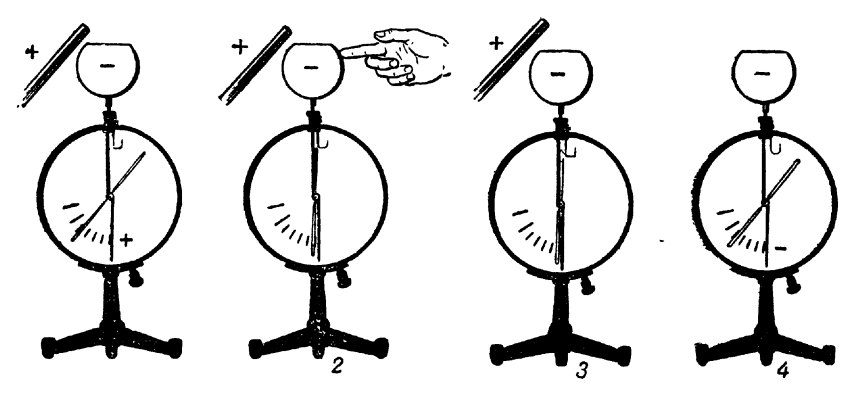


Рис. 3-11. Четыре стадии заряжения электрометра через влияние.

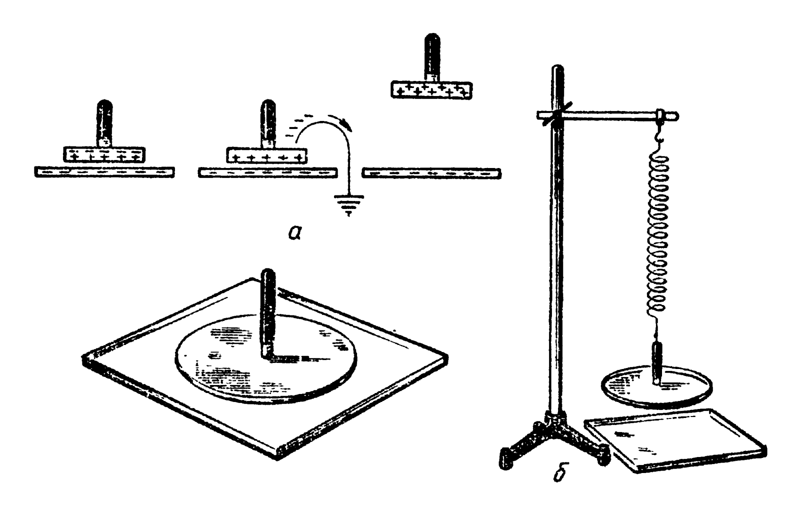


Рис. 3-12. Электрофор из деталей разборного конденсатора:
а — стадии заряжения электрофора; *б* — установка к объяснению действия электрофора

статочно заметна в хорошо затемненном классе. Можно воспользоваться и неоновой лампой или небольшой газоразрядной трубкой, которая довольно ярко вспыхивает, если один из выводов держать в руке, а другим коснуться диска.

Действие электрофора можно усилить, если под пластину диэлектрика на стол положить металлический лист.

При объяснении действия электрофора необходимо показать наличие взаимодействия зарядов и сохранение величины первичного заряда.

С этой целью подвешивают на пружине от ведерка Архимеда диск электрофора над изолирующей пластиной на расстоянии приблизительно 4—5 см (рис. 3-12, *б*). Электризуют изолирующую пластину и опускают на нее диск. Обращают внимание учащихся, что диск под действием пружины поднимается обратно. После этого снова опускают диск на пластину и прикосновением руки снимают одноименные заряды: диск остается притянутым к пластине.

Объясняют, что диск удерживает электрическая сила взаимного притяжения между разноименными зарядами пластины и диска. Чтобы снять диск, необходимо совершить работу, за счет которой происходит разделение электрических зарядов.

Постоянство первичного заряда показывают при помощи электрометра, на котором устанавливают один из дисков разборного конденсатора. Сверху на диск кладут три небольших кусочка стекла или другого изолятора. Заряжают диск и замечают угол отклонения стрелки электрометра. Затем на изоляторы помещают второй металлический диск. Прикосновением руки снимают одноименный заряд с верхнего диска: стрелка электрометра при этом устанавливается на нуль. Поднимают диск с электрометра, стрелка возвращает-

ся к прежнему делению шкалы. Заряд с диска передают другому электрометру.

Опыт повторяют еще несколько раз и убеждаются, что величина первичного влияющего заряда, контролируемого стрелкой электрометра, остается постоянной, а заряд на втором электрометре увеличивается.

ОПЫТ 114. ЗАКОН КУЛОНА

Оборудование: 1) весы чувствительные на штативе, 2) три металлических полых шарика на изолирующих подвесах: один — для закрепления на весах, второй — на изолирующем штативе, третий — на изолирующей ручке, 3) палочка из органического стекла или эбонитовая, 4) кусок меха, 5) линейка демонстрационная, 6) лапка и муфта от штатива.

Собирают установку с чувствительными весами по рисунку 3-13. На весах, представляющих собой рычаг, уравновешенный противовесом в горизонтальном положении, укрепляется легкий металлический шарик. Шарик закрепляют на рычаге точно под осью, и вращающего момента он не создает. Длина стержня выбрана так, чтобы расстояние от оси вращения рычага весов до центра шарика было равно 10 см, когда шарик закреплен на весах. Рычаг устанавливают в горизонтальном положении, перемещая противовес, пока конец рычага не станет против метки, нанесенной на основании прибора.

Второй шарик, как и первый, насаженный на изолирующий стержень, устанавливают на изолирующем штативе.

Для измерения расстояний между центрами шаров на штативе весов с помощью лапки закрепляют небольшую демонстрационную линейку с хорошо видимыми издали сантиметровыми делениями. В начале опыта ее следует расположить так, чтобы при равновесии весов центр шарика находился против нулевого деления шкалы.

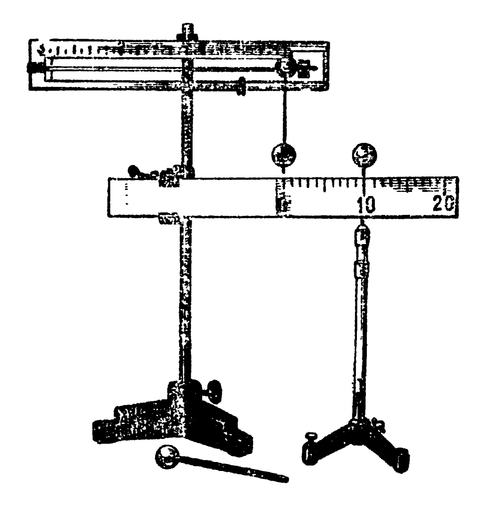


Рис. 3-13. Установка для демонстрации закона Кулона.

После такой предварительной подготовки заряжают оба шарика наэлектризованной палочкой, от электрофорной машины или от высоковольтного преобразователя. Шарик на штативе располагают на расстоянии приблизительно 5—6 см от другого шарика и обращают внимание учащихся, что весы при этом выходят из равновесия вследствие взаимного отталкивания

одноименных зарядов. Чтобы вернуть весы в прежнее горизонтальное положение, на рычаг насаживают рейтер — легкую скобочку — и перемещают его вдоль рычага, пока конец рычага не совпадет с меткой. По делениям шкалы весов определяют силу взаимодействия зарядов. Если шары заряжены хорошо, то положение рейтера весом 0,002 Н будет почти на конце рычага, например на 28-м делении.

Затем уменьшают заряд одного из шариков в два раза, для чего касаются его незаряженным третьим шариком такого же размера на изолирующей ручке. И опять, перемещая рейтер по рычагу, добиваются равновесия весов. Оказывается, что в этом случае рейтер располагается на 14-м делении, т. е. сила будет в два раза меньше прежней. Повторяют опыт, уменьшая заряд в 4 раза, и наблюдают уменьшение силы тоже в 4 раза.

Проведенные наблюдения дают основание сделать вывод, что сила взаимодействия пропорциональна величине одного из зарядов: $F \sim q_1$.

Повторяют опыт, меняя аналогично величину заряда другого шарика, и убеждаются, что сила взаимодействия пропорциональна величине второго заряда: $F \sim q_2$.

Чтобы проверить зависимость силы взаимодействия от расстояния, вновь хорошо заряжают оба шарика и устанавливают шарик на штативе на расстоянии, например, 5 см от нулевого деления демонстрационной шкалы. Определяют величину силы по положению рейтера при равновесии весов. Затем увеличивают расстояние между шариками сначала вдвое (10 см), а потом втрое (15 см). Пользуясь каждый раз рейтером, приводят весы в равновесие и убеждаются, что в первом случае сила уменьшилась в 4 раза, а во втором — в 9 раз.

Делают вывод, что сила взаимодействия обратно пропорциональна квадрату расстояния, т. е.

$$F \sim \frac{1}{R^2}.$$

Объединяя результаты наблюдений, записывают, что $F \sim \frac{q_1 q_2}{R^2}$ или, переходя к знаку равенства,

$$F = k\frac{q_1 q_2}{R^2},$$

где k — коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единиц для измерения зарядов, силы и расстояния.

Следует иметь в виду, что при помощи весов силу взаимодействия можно определять не только в условных единицах, но и в абсолютных — динах или ньютонах, если заранее известен вес рейтера. Это позволяет использовать опыты с весами для решения экспериментальных задач.

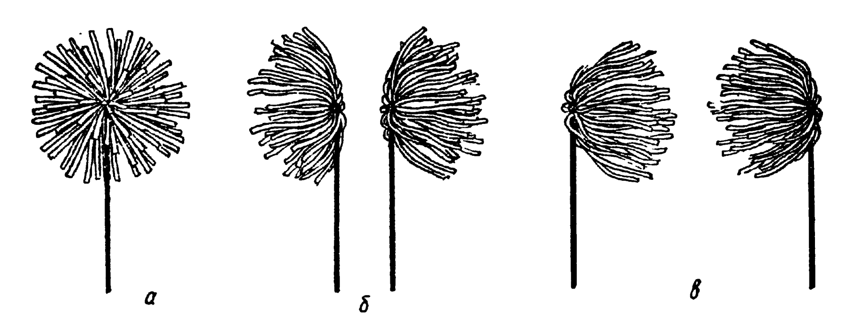


Рис. 3-14. Электрическое поле точечных зарядов.

ОПЫТ 115. СИЛОВЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Оборудование: 1) султаны на изолирующих штативах, 2) конденсатор разборный, 3) пластинка стеклянная 170 × 170 мм с набором электродов, 4) электрофорная машина или высоковольтный выпрямитель, 5) проекционный аппарат, 6) гипосульфит натрия или манная крупа в коробочке с сеткой, 7) провода соединительные.

Простейшую демонстрацию электрических силовых линий выполняют при помощи султанов, которые устанавливают на изолирующих штативах и заряжают хорошо наэлектризованной палочкой или от электрофорной машины. Сначала показывают опыт с одним заряженным султаном и обращают внимание на радиальное расположение бумажных полосок (рис. 3-14, *а*). Затем заряжают оба султана одноименными (рис. 3-14, *б*) и разноименными зарядами (рис. 3-14, *в*) и показывают искривление полосок при отталкивании и притяжении.

Для демонстрации однородного электрического поля между двумя заряженными пластинами пользуются дисками разборного конденсатора, закрепленными на изолирующих штативах (рис. 3-15). Предварительно вырезают из плотной бумаги кружки по размерам дисков и прикрепляют их к дискам канцелярскими скрепками. На поверхности кружков приклеивают одним концом по 10—15 узких полосок из папиросной бумаги длиной 10—12 см. Установив диски на расстояние, немногим большее двойной длины бумажных полосок, соединяют пластины конденсатора с кондукторами электрофорной машины. При вращении машины все полоски вытягиваются и располагаются горизонтально, показывая

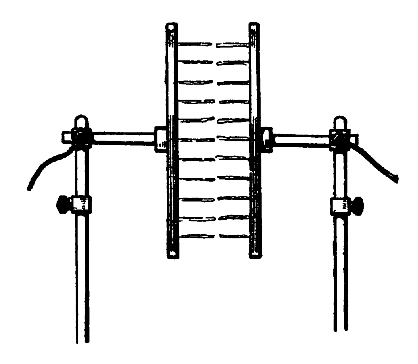


Рис. 3-15. Электрическое поле двух заряженных пластин.

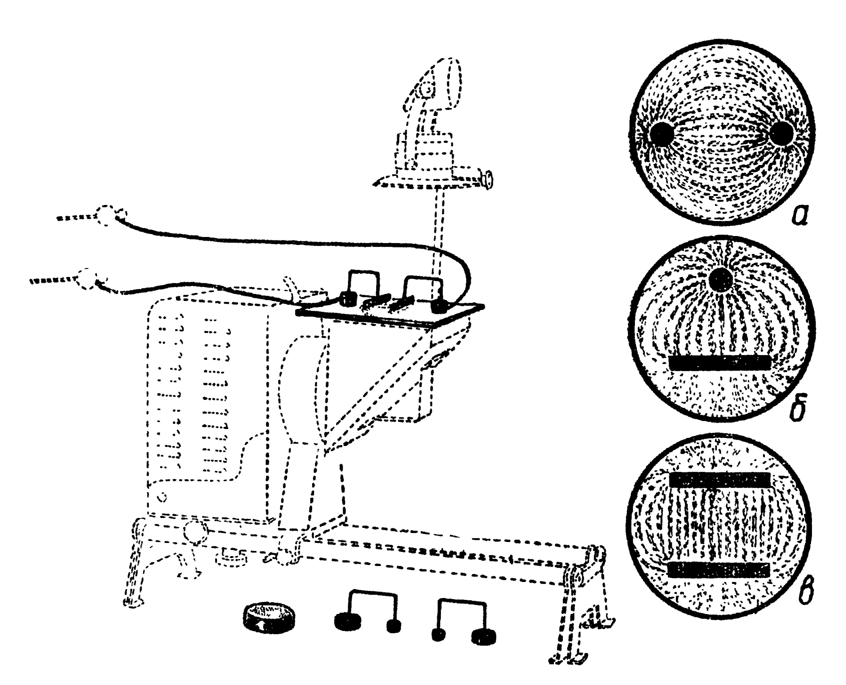


Рис. 3-16. Демонстрация спектров электрических полей в проекции на экран.

направление силовых линий электрического поля между двумя заряженными пластинами.

Образование электрических силовых линий обычно проецируют на экран (рис. 3-16). Для этого заранее подготавливают стеклянную пластинку размером 170 × 170 мм, металлические электроды в виде двух небольших цилиндриков (диаметр 8 мм, высота 6—8 мм) и двух пластинок длиной по 30 мм и шириной 6—7 мм. Электроды закрепляют на проволочных держателях, которые вставляют в резиновые пробки. Снизу в пробках делают небольшое углубление, куда кладут кусочек пластилина для лучшей устойчивости электродов.

Располагают на стеклянной пластинке два цилиндрика на расстоянии приблизительно 15—20 мм друг от друга и получают на экране их отчетливые изображения. Соединяют держатели тонкими гибкими проводниками с кондукторами высоковольтного выпрямителя или электрофорной машины и устанавливают напряжение порядка 2—3 кВ (медленно делают несколько оборотов машины). Затем из коробки с сеткой равномерно посыпают вокруг электродов предварительно размельченные кристаллики гипосульфита или манную крупу[1] и одновременно слегка постукивают по

[1] Можно воспользоваться и мелко растертыми кристалликами гипса или применить мелко настриженный волос, например, от кисточки для клея.

стеклу карандашом. Под действием электрического поля кристаллики располагаются вдоль силовых линий, образуя при разных электродах спектры поля одиночного заряженного шара, двух заряженных шаров, пластин (рис. 3-16, *а*, *б*, *в*).

Во время опыта подавать на электроды слишком большое напряжение не следует. В этом случае труднее получить устойчивую картину поля. Кроме того, между электродами могут проскакивать искры и отвлекать внимание учащихся от основного явления.

ОПЫТ 116. ЭКВИПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Оборудование: 1) электрометр демонстрационный, 2) шаровой и конусообразный кондукторы на изолирующих штативах, 3) палочка для электризации с куском меха, 4) шарик пробный на изолирующей ручке, 5) свеча елочная на ножке для установки на изолирующем штативе, 6) два проводника: один длиной 1,5—2 м гибкий, другой — для заземления электрометра.

В начале опыта напоминают учащимся устройство и принцип действия электрометра — прибора для измерения разности потенциалов. Обращают внимание на металлический корпус, который при измерениях соединяют с землей, чтобы защитить электрометр от влияния внешних электрических полей. По углу отклонения стрелки от стержня прибора или по делениям шкалы судят о величине разности потенциалов между стрелкой и корпусом прибора. После этого напоминают учащимся опыт с распределением зарядов по поверхности конусообразного кондуктора (см. опыт 112), а затем проводят исследование потенциала этого заряженного проводника (рис. 3-17). Соединяют пробный шарик длинным гибким проводни-

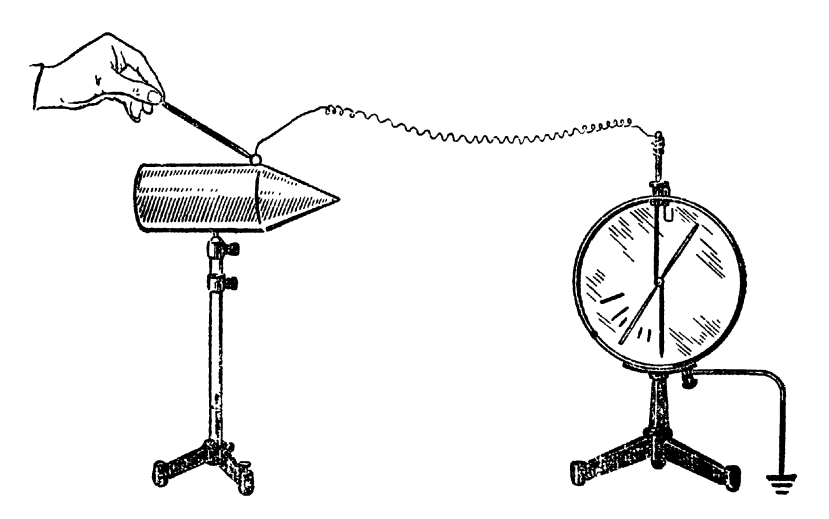


Рис 3-17. Исследование потенциала заряженного проводника.

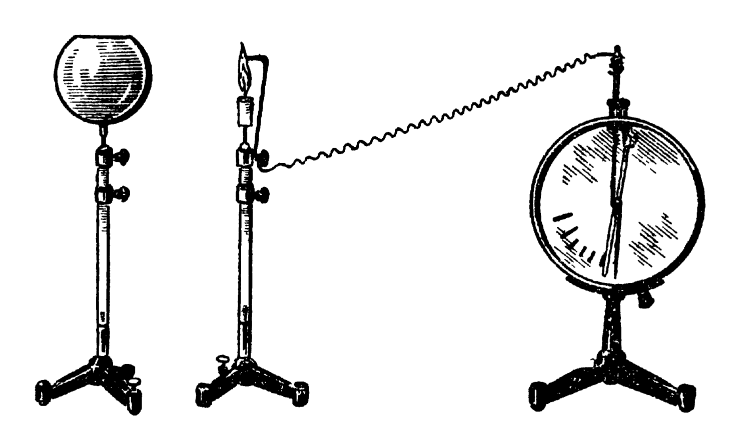


Рис. 3-18. Пламенный зонд с электрометром

ком со стержнем электрометра, а корпус последнего заземляют. Касаются шариком заряженного проводника и перемещают его по всей поверхности (наружной и внутренней). При этом наблюдают, что показания электрометра остаются одинаковыми, т. е. поверхность заряженного проводника всюду имеет одинаковый потенциал.

Для измерения потенциала в какой-либо точке электрического поля вокруг заряженного проводника пользуются пламенным зондом, представляющим собой небольшую часть тонкой свечи, укрепленной при помощи ножки в изолирующем штативе (рис. 3-18). В пламя свечи, которое должно быть обязательно небольшим, помещают острие — конец проволоки, соединяющей зонд со стержнем электрометра. Электрометр во время опыта помещают возможно дальше от зонда.

Заряжают наэлектризованной палочкой шаровой кондуктор и подносят к нему на расстояние 30—40 см зонд. Стрелка отклоняется: электрометр показывает разность потенциалов между острием, находящимся в данной точке поля, и землей. Приближая зонд к кондуктору или удаляя от него, наблюдают большее или меньшее показание электрометра. При этом надо помнить, что подносить пламя близко к заряженному шару не рекомендуется, так как от пламени он быстро разряжается, что может привести к искажению результатов опыта.

Необходимость применять в этом случае пламя вызывается тем, что оно в сочетании с острием способствует более быстрому снятию индуцированных зарядов, которые могут искажать поле.

Затем помещают зонд в разных точках вокруг заряженного шара, где показания электрометра были бы одинаковы в пределах допустимых погрешностей, и подводят учащихся к понятию эквипотенциальных поверхностей.

ОПЫТ 117. ПОНЯТИЕ ОБ ЭЛЕКТРОЕМКОСТИ

Оборудование: 1) электрометры — 2 шт., 2) кондукторы шаровые — большой и малый, 3) диск от разборного конденсатора, 4) столик из комплекта демонстрационных динамометров, 5) электрофорная машина или высоковольтный выпрямитель, 6) пробный шарик на изолирующей ручке.

Для введения понятия об электроемкости удобно воспользоваться двумя электрометрами, предварительно сверенными и отрегулированными (см. опыт 110).

Опыт начинают с демонстрации одинаковой чувствительности электрометров. Их соединяют проводником и заряжают одновременно от наэлектризованной палочки. Затем на электрометры надевают шаровые кондукторы: на один — большой, а на другой — малый. Корпуса электрометров заземляют. При этом шар, стержень и стрелка электрометра образуют одну из обкладок конденсатора, а изолированный от них корпус электрометра и земля — другую.

Зарядив банки электрофорной машины (делают несколько оборотов дисков), быстро переносят от нее пробным шариком одинаковые заряды на шаровые кондукторы (рис. 3-19). Для этого достаточно по нескольку раз пробным шариком коснуться кондуктора машины и каждый раз вносить его внутрь шаров, касаясь их внутренней поверхности. Заряжать лучше сначала большой шар, а затем малый.

С увеличением заряда на шаре увеличивается и разность потенциалов, отмечаемая электрометром. Оказывается, что при одинаковых условиях для разных шаров эта разность потенциалов неодинакова: один и тот же заряд сообщает большему шару меньшую разность потенциалов, — следовательно, его емкость больше,

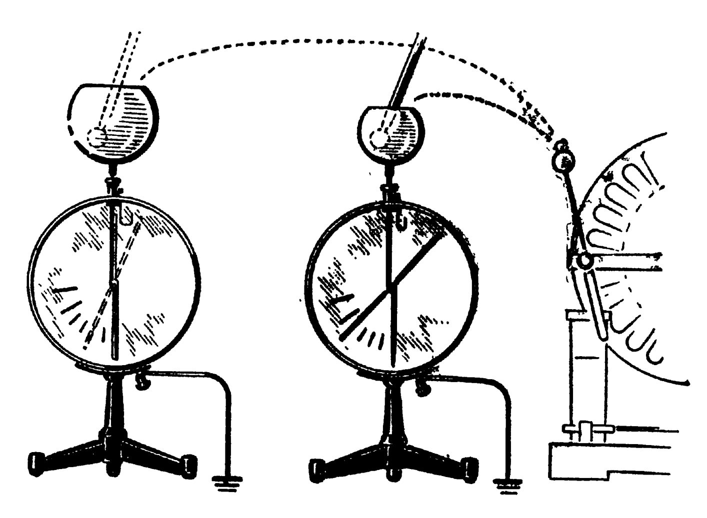


Рис. 3-19. К введению понятия электроемкости.

После этого демонстрируют зависимость емкости одного и того же шара от близости расположения других проводников. Для этого достаточно к заряженному шару медленно приближать или удалять руку и следить за изменениями показаний электрометра.

В этом опыте вместо шаров можно поместить на электрометры металлические диски: на один — большой (от разборного конденсатора), а на другой — малый (съемный столик из комплекта демонстрационных динамометров). Разность в емкости будет больше, и поэтому показания электрометров становятся более выразительными.

ОПЫТ 118. ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ ПЛОСКОГО КОНДЕНСАТОРА

Оборудование: 1) конденсатор разборный, 2) штативы изолирующие, 3) электрометр, 4) палочка эбонитовая или стеклянная с куском меха, 5) штатив универсальный, 6) провода соединительные, 7) линейка или метр демонстрационный.

Этот опыт должен служить экспериментальным обоснованием формулы плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{l},$$

где S — площадь одной из пластин, l — расстояние между пластинами (толщина диэлектрика), ε — диэлектрическая проницаемость диэлектрика, заполняющего пространство между пластинами, ε_0 — электрическая постоянная.

Собирают установку по рисунку 3-20. На изолирующих штативах с помощью уравнительных винтов пластины конденсатора устанавливают параллельно друг другу и раздвигают на расстояние 2—3 см. К пластинам присоединяют электрометр.

Хорошо наэлектризованной палочкой заряжают пластину, соединенную со стержнем электрометра. (Отклонение стрелки должно быть примерно до половины шкалы.) Затем, не меняя расстояния между пластинами, сдвигают одну из них в сторону.

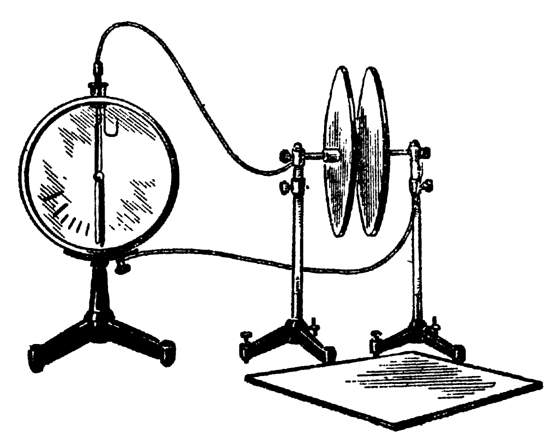


Рис. 3-20. Установка для демонстрации зависимости электроемкости конденсатора от его размеров и рода диэлектрика.

Обращают внимание учащихся на заметное увеличение показаний электрометра, что свидетельствует об уменьшении емкости конденсатора при уменьшении площади пластин, взаимно перекрывающих друг друга. Снова возвращают пластину на место и наблюдают уменьшение показаний электрометра: емкость конденсатора увеличилась до первоначального значения.

После этого демонстрируют зависимость емкости конденсатора от изменения расстояния между пластинами. Приближая или удаляя одну из пластин, следят за показаниями электрометра. Из опыта убеждаются, что емкость конденсатора изменяется обратно пропорционально расстоянию между пластинами.

Затем, оставив расстояние между пластинами неизменным, вносят в промежуток между ними диэлектрики с различными диэлектрическими проницаемостями, например пластины из органического стекла или эбонита. Наблюдая за показаниями электрометра, делают вывод об изменении емкости конденсатора при изменении диэлектрика.

ОПЫТ 119. УСТРОЙСТВО И ДЕЙСТВИЕ КОНДЕНСАТОРОВ ПОСТОЯННОЙ И ПЕРЕМЕННОЙ ЕМКОСТИ

Оборудование: 1) конденсаторы постоянной емкости разные, 2) конденсатор бумажный препарированный, 3) конденсатор бумажный на 2 мкФ — из набора для лабораторных работ, 4) гальванометр демонстрационный, 5) конденсатор переменной емкости, 6) выпрямитель универсальный, 7) электрометр, 8) палочка для электризации с куском меха, 9) переключатель однополюсный демонстрационный, 10) штатив с лапкой и муфтой, 11) провода соединительные.

Для демонстрации устройства конденсаторов постоянной емкости удобно воспользоваться следующими препарированными конденсаторами: бумажным конденсатором большой емкости (2—4 мкФ), электролитическим конденсатором и слюдяным. Сначала показывают общий вид различных конденсаторов, а затем — отдельные детали устройства: обкладки, диэлектрик, корпус, проходные изоляторы.

После ознакомления с устройством заряжают конденсатор емкостью 2 мкФ от источника постоянного напряжения 50—100 В и разряжают его через гальванометр. При этом объясняют, что о величине электрического заряда можно судить не только по показаниям электрометра при отталкивании одноименных зарядов, но и по отбросу стрелки гальванометра, вызываемого движущимися зарядами. Импульс тока вызывает отклонение стрелки гальванометра на некоторый угол пропорционально величине заряда, прошедшего через прибор.

Чтобы убедиться в этом, собирают установку по рисунку 3-21, где в качестве индикатора применяют демонстрационный гальванометр от амперметра. Прибор включают в цепь средним зажимом и зажимом со знаком плюс. Вольтметр берут со шкалой на 15 делений и включают с дополнительным сопротивлением «~250».

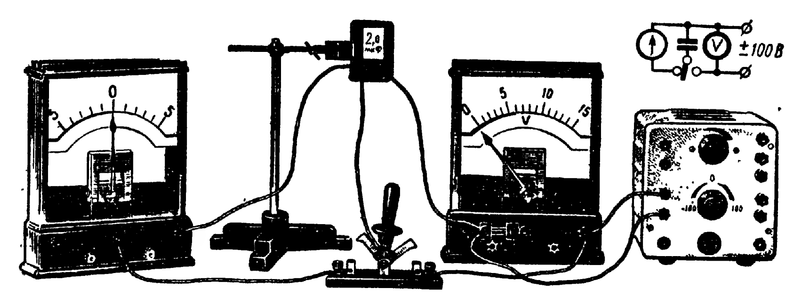


Рис. 3-21. Установка для демонстрации зарядки и разрядки конденсатора через гальванометр.

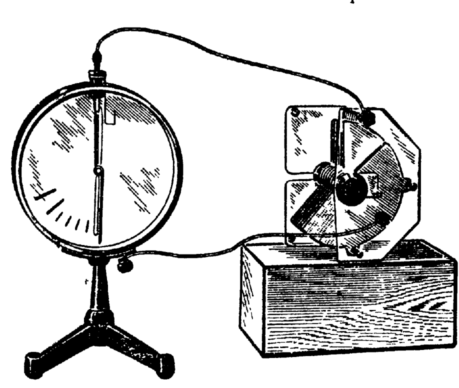


Рис. 3-22. Демонстрация устройства и действия конденсатора переменной емкости.

Сначала несколько раз заряжают и разряжают конденсатор при одном и том же напряжении (например, при 60 В) и показывают, что стрелка гальванометра каждый раз отбрасывается на одно и то же число делений, например на 4. Затем уменьшают напряжение в 2, 3, 4 раза, т. е. сообщают конденсатору меньшие заряды, и наблюдают, что показания гальванометра тоже становятся в 2, 3, 4 раза меньше, т. е. они пропорциональны величине заряда при постоянной емкости конденсатора.

После этого показывают устройство и действие конденсатора переменной емкости (рис. 3-22). Подвижные пластины конденсатора (ротор) соединяют с корпусом электрометра, а неподвижные (статор) — со стержнем. При помощи наэлектризованной палочки заряжают статорные пластины конденсатора при полностью введенных внутрь подвижных пластинах так, чтобы стрелка электрометра отклонилась приблизительно на 2—3 деления. Заметив положение стрелки, уменьшают емкость конденсатора и наблюдают, как при неизменной величине заряда увеличиваются показания электрометра. Затем снова вводят пластины ротора внутрь, т. е. увеличивают емкость, и наблюдают, как стрелка электрометра приходит в первоначальное положение.

ОПЫТ 120. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ. СОЕДИНЕНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ

Оборудование: 1) конденсаторы постоянной емкости: 0,5; 1; 1; 2 мкФ, 2) гальванометр демонстрационный от амперметра, 3) выпрямитель универсальный,

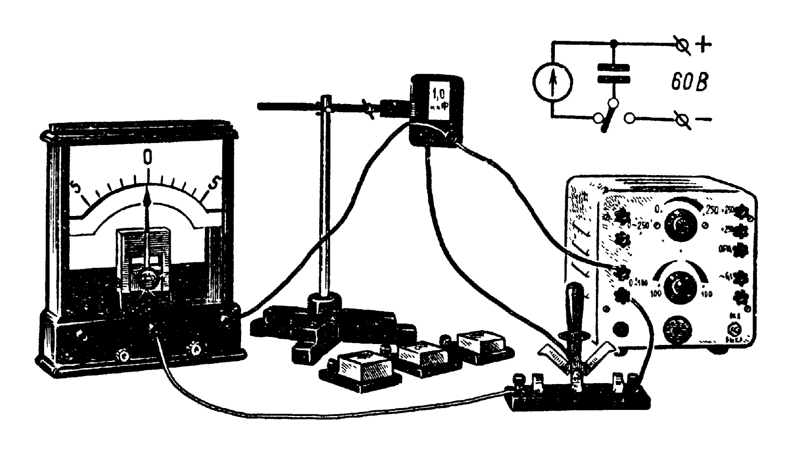


Рис. 3-23. Установка для измерения емкости конденсатора.

4) переключатель однополюсный, 5) штатив универсальный, 6) провода соединительные.

В данном опыте применяют набор конденсаторов постоянной емкости (эталоны) из лабораторного оборудования. Опыт с ними следует проводить так, чтобы он послужил предварительной подготовкой к физическому практикуму, где выполняется аналогичная лабораторная работа.

Собирают установку по рисунку 3-23. Включают в цепь конденсатор сначала в 1 мкФ; гальванометр присоединяют средним зажимом и зажимом с обозначением «+». Напряжение на выходных зажимах выпрямителя устанавливают около 60 В. В этом случае отклонение стрелки гальванометра будет наиболее удобным для наблюдения — 2 деления. При включении конденсатора емкостью 0,5 мкФ стрелка отклоняется на 1 деление, емкостью 2 мкФ — на 4 деления. Положение ручки потенциометра у выпрямителя надо заранее откорректировать и отметить.

После такой предварительной подготовки знакомят учащихся с методом выполнения лабораторной работы. Заряжают конденсатор от одного и того же источника постоянного напряжения, а затем разряжают его с помощью перекидного ключа через гальванометр.

Опыт повторяют несколько раз и убеждаются, что стрелка всякий раз отбрасывается по шкале на одно и то же число делений.

То же самое проделывают с конденсатором 0,5 и 2 мкФ и экспериментальным путем убеждаются, что отброс стрелки гальванометра n прямо пропорционален C — величине емкости конденсатора ($n = kC$). Отсюда определяют коэффициент пропорциональности k, выражающий число делений, приходящихся на 1 мкФ.

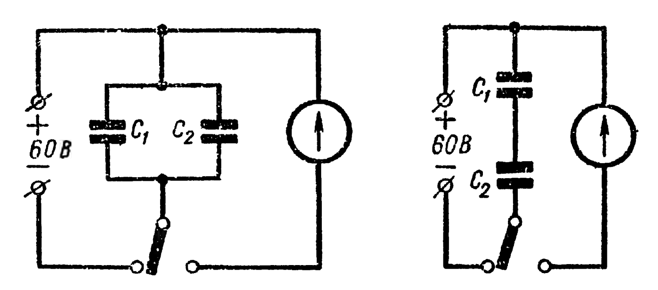


Рис. 3-24. Схема параллельного и последовательного включения конденсаторов в цепь.

Результаты опытов полезно записать на классной доске в виде следующей таблицы:

№ опытов	C	n	k
1	0,5	1	2
2	1,0	2	2
3	2,0	4	2
			Среднее: 2

После этого повторяют опыт с конденсатором неизвестной емкости (можно воспользоваться вторым конденсатором емкостью 1 мкФ из набора, заклеив обозначение емкости) и, зная коэффициент пропорциональности *k*, по отбросу стрелки гальванометра определяют неизвестную емкость.

Далее определяют емкость при параллельном и последовательном соединении конденсаторов (рис. 3-24) и экспериментально убеждаются, что в первом случае емкость батареи равна сумме емкостей отдельных конденсаторов:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n,$$

а при последовательном соединении она вычисляется по формуле:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$

При этом следует подобрать конденсаторы для параллельного соединения так, чтобы стрелка не отклонялась за пределы шкалы гальванометра. Можно, например, брать конденсаторы емкостью 1 и 1 мкФ, или 2 и 0,5 мкФ, или 1, 1 и 0,5 мкФ.

ОПЫТ 121. ЭНЕРГИЯ ЗАРЯЖЕННОГО КОНДЕНСАТОРА

Оборудование: 1) батарея конденсаторов демонстрационная, 2) выпрямитель универсальный, 3) вольтметр демонстрационный с дополнительным сопротивлением 33 кОм, 4) панелька с четырьмя лампами накаливания — 3,5 В и 0,28 А, 5) переключатель однополюсный демонстрационный, 6) провода соединительные.

Собирают установку по рисунку 3-25. От выпрямителя подают напряжение около 60 В. Включают половину емкости батареи (30 мкФ) и заряжают ее, замыкая цепь зарядки переключателем на короткое время. Затем переключают батарею на разрядку через одну лампу и наблюдают, что лампа при этом не очень ярко вспыхивает.

Объясняют учащимся, что электрическая энергия заряженного конденсатора переходит во внутреннюю энергию нити лампы накаливания и энергию излучения.

Увеличивают емкость батареи в 2 раза и при прежнем напряжении снова заряжают конденсатор. Теперь при разряде лампа вспыхивает ярче, чем в первом случае. Подключив две лампы, повторяют опыт. По наблюдениям можно сказать, что теперь накал нитей ламп приблизительно такой же, как и в первом случае, т. е. энергия конденсатора увеличилась в 2 раза.

Далее показывают, что энергия заряженного конденсатора зависит и от разности потенциалов на его пластинах. С этой целью при напряжении 50—60 В повторяют опыт с половиной емкости батареи конденсаторов (30 мкФ) и наблюдают свечение одной лампы. Затем увеличивают напряжение в 2 раза и, включив сразу две лампы, наблюдают довольно яркое их вспыхивание. Это подтверждает увеличение энергии заряженного конденсатора (во всяком случае, более чем в 2 раза). После этого подключают четыре лампы, которые вспыхивают, как и в первом случае.

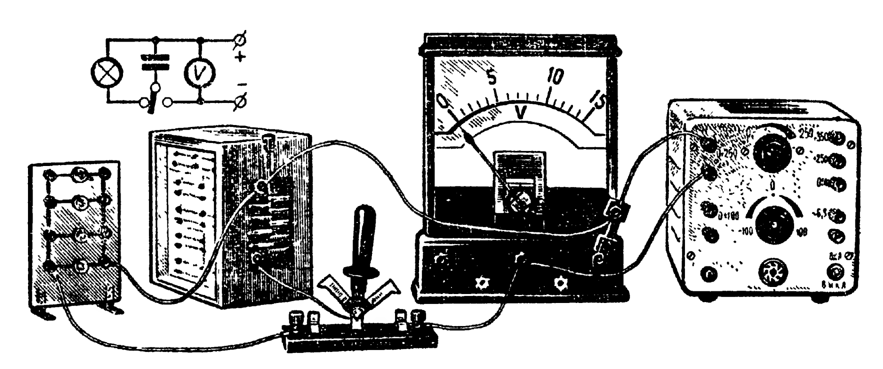


Рис. 3-25. Установка для демонстрации энергии заряженного конденсатора (батареи).

Таким образом, опыт показывает зависимость энергии заряженного конденсатора от его емкости и разности потенциалов и подводит к пониманию формулы:

$$П = \frac{CU^2}{2}.$$

§ 2. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

ОПЫТ 122. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ЭЛЕКТРОМЕТРОМ

Оборудование: 1) электрометр демонстрационный с конденсатором, 2) преобразователь высоковольтный «Разряд-1», 3) выпрямитель ВС-24 М, 4) выпрямитель универсальный, 5) батарея аккумуляторов ЗНКН-10 — 2 шт., 6) проводник на изолирующей ручке, 7) провода соединительные.

Сначала присоединяют электрометр к выводам высоковольтного преобразователя. При помощи регулятора на выпрямителе ВС-24 М постепенно увеличивают напряжение, подаваемое на преобразователь, и наблюдают за показаниями электрометра. Затем соединяют электрометр с универсальным выпрямителем (зажимы 0—250 В). Показывают, что и в этом случае для измерения напряжения можно воспользоваться электрометром, хотя отклонение стрелки будет небольшим, так как чувствительность прибора для этого источника постоянного тока мала.

Далее присоединяют электрометр к батарее аккумуляторов. В этом случае чувствительность измерителя оказывается совсем недостаточна для обнаружения напряжения и стрелка не отклоняется. Однако если воспользоваться конденсатором, то можно показать возможность измерения напряжения и на зажимах аккумулятора при помощи того же электрометра.

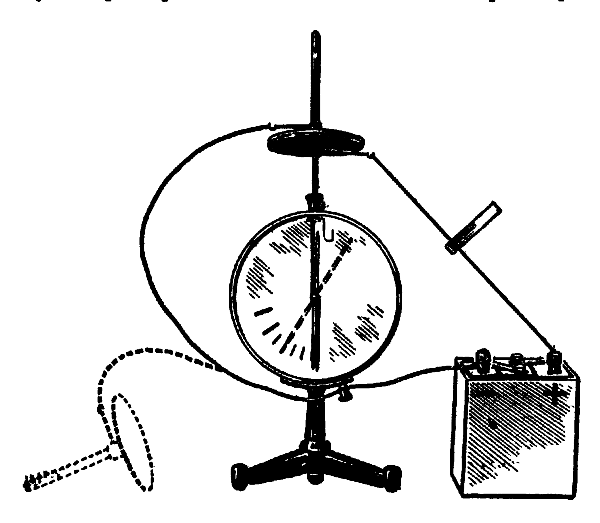


Рис. 3-26. Измерение электрометром напряжения на зажимах аккумулятора.

Для этого собирают установку по рисунку 3-26. На стержень электрометра надевают диск конденсатора, имеющий насадочную втулку. Другой диск с изолирующей ручкой помещают сверху и соединяют его с корпусом электрометра и с одним из полюсов аккумулятора. Проводником на изолирующей ручке соединяют на короткое время второй полюс аккумулятора с нижним диском конденсатора и заряжают его. Наконец, удаляют верхний диск. При этом емкость прибора во много раз уменьшается, а разность потенциалов возрастает и электрометр дает заметное показание. Опыт повторяют и убеждаются, что стрелка всякий раз отклоняется на определенный угол, по которому можно судить о напряжении аккумулятора.

Соединив две батареи аккумуляторов последовательно, повторяют опыт. Теперь отклонение стрелки электрометра удваивается. Таким образом, учащиеся убеждаются, что электрометром можно измерять и высокие напряжения в опытах по электростатике и сравнительно низкие напряжения у источников, применяемых в опытах по постоянному току.

Перед опытом надо аккуратно очистить диски от пыли мягкой кистью или протереть мягкой тканью, чтобы не поцарапать слой лака, который служит диэлектриком в конденсаторе. Съемную пластину во время выполнения опыта нужно класть на чистую и мягкую подложку (бумагу, материю) или ставить на стол ребром, опирая на ручку.

Если лак на дисках имеет царапины, можно в качестве диэлектрика взять тонкую пластинку слюды или пленку из пластмассы.

ОПЫТ 123. УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В ПРОВОДНИКЕ

Оборудование: 1) электрометры с шаровыми кондукторами — 2 шт., 2) электрофорная машина, 3) высоковольтный преобразователь, 4) гальванометр демонстрационный, 5) разрядник на изолирующей ручке с неоновой лампой, 6) эбонитовая и стеклянная палочки с куском меха, 7) штативы изолирующие — 2 шт., 8) газоразрядная трубка на стойке, 9) механическая модель электрической цепи на штативе, 10) провода соединительные, 11) палочка или трубочка из бумаги длиной 50 мм, диаметром 5 мм, подкрашенная тушью, — проводящий слой большого сопротивления, 12) подставка изолирующая.

Сначала демонстрируют, пользуясь электрометрами, возникновение кратковременного электрического тока (рис. 3-27). Зарядив один из электрометров, соединяют его при помощи проводника на изолирующей ручке с незаряженным электрометром. Наблюдают, как при этом на короткое время вспыхивает включенная в цепь неоновая лампа. Обращают внимание, что стрелка другого отклоняется на такой же угол, что и у первого электрометра (потенциалы выравниваются).

Так как свечение лампы сравнительно слабое, то опыт следует показывать несколько раз и в полузатемненном классе, чтобы

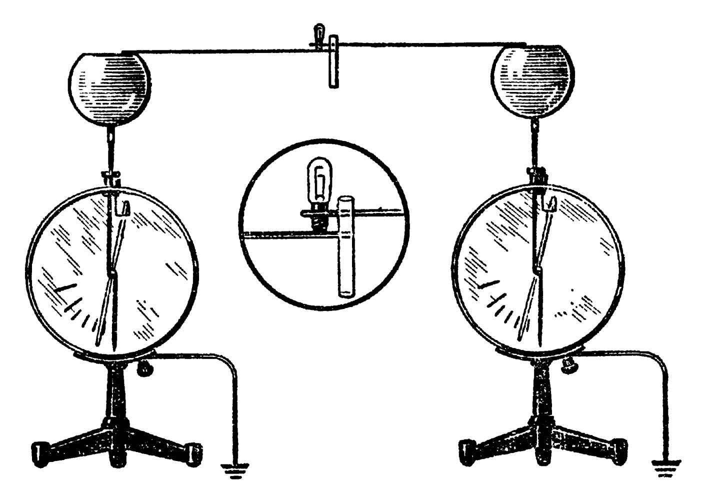


Рис. 3-27. Демонстрация кратковременного тока при выравнивании потенциалов электрометров.

одновременно можно было наблюдать за лампой и за показаниями электрометров.

Продолжая опыт, видоизменяют установку (рис. 3-28). Электрометр, изолированный от стола, присоединяют к зажимам изолирующих штативов, на которых установлены шаровые кондукторы. Зарядив один из них, например, от эбонитовой палочки, а другой

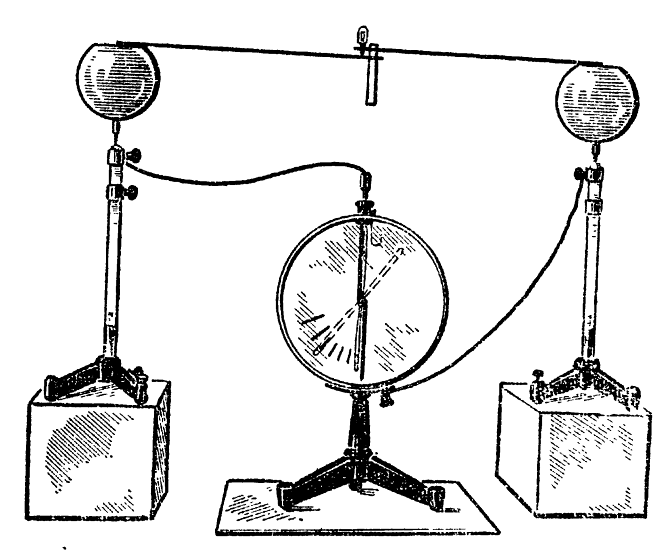


Рис. 3-28. Кратковременный ток при нейтрализации разноименных зарядов.

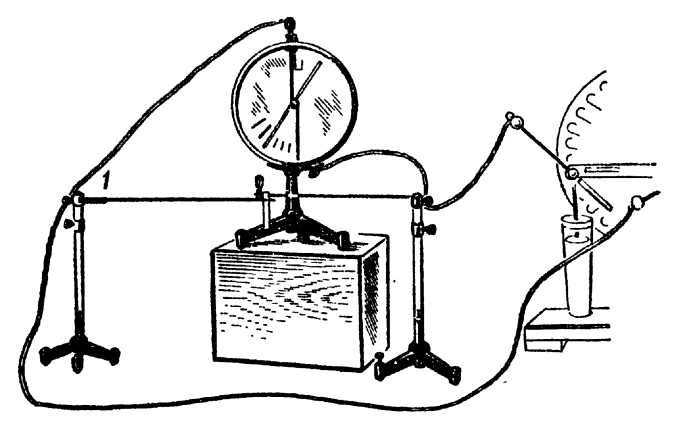


Рис. 3-29. Получение постоянного электрического тока от электрофорной машины.

от стеклянной, наблюдают кратковременный ток по свечению неоновой лампы при нейтрализации зарядов. При этом стрелка электрометра опадет до нуля, если заряды были одинаковыми, или покажет некоторую разность потенциалов, меньшую, чем раньше.

Для получения непрерывного тока собирают установку по рисунку 3-29 с электрофорной машиной. При этом между проводником с неоновой лампой и зажимом изолирующего штатива включают большое сопротивление в виде деревянной палочки или бумажной трубочки *1*, окрашенной тушью или покрытой тонким слоем графита от простого карандаша. При работе машины наблюдают непрерывное свечение неоновой лампы, а электрометр отмечает наличие разности потенциалов.

Заменяют электрофорную машину высоковольтным преобразователем (рис. 3-30). В этом случае ток в цепи можно измерять

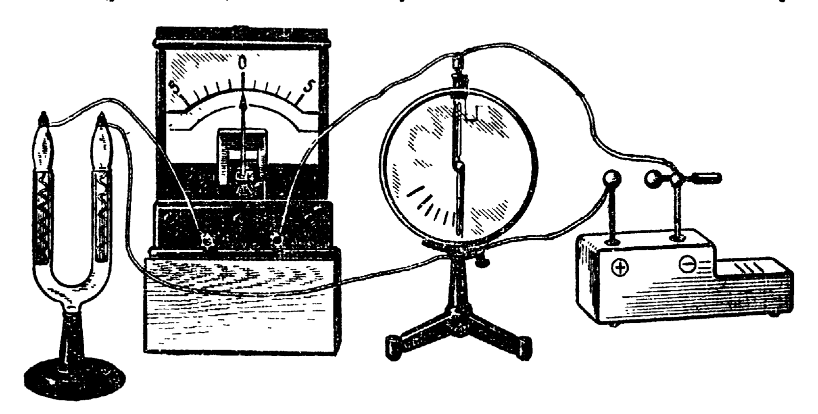


Рис. 3-30. Постоянный электрический ток в цепи от высоковольтного преобразователя.

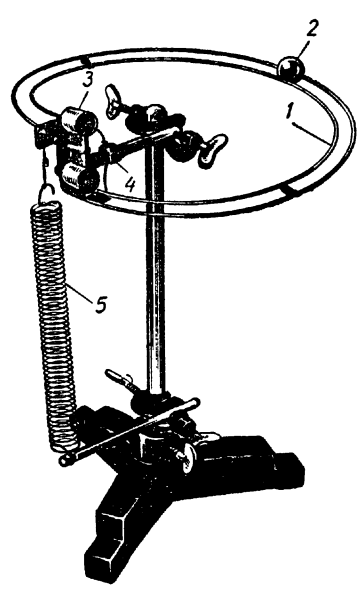


Рис. 3-31. Механическая модель электрической цепи.

обычным демонстрационным гальванометром, а нагрузочным сопротивлением может служить газоразрядная трубка, ее свечение хорошо заметно без затемнения.

Далее переходят к объяснению составных элементов цепи и разбирают вопрос о необходимости источника тока как устройства, в котором действуют сторонние (не кулоновы) силы, поддерживающие постоянную разность потенциалов на концах проводника. С этой целью пользуются механической моделью электрической цепи (рис. 3-31)[1].

По винтовой наклонной дорожке *1* скатывается металлический шарик *2*. Попав в нижнюю трубку ротора *3*, шарик ударом отводит рычажок *4*. Тогда ротор, поворачиваясь за счет энергии натянутой пружины *5* на пол-оборота, быстро переносит шарик вверх на начало винтовой дорожки, откуда он опять скатывается вниз. Явление будет повторяться до тех пор, пока не ослабнет натяжение пружины.

Движение шарика по винтовой дорожке под действием силы тяжести аналогично перемещению электрических зарядов во внешней электрической цепи под действием сил электрического поля. Работа же, совершаемая при подъеме шарика против силы тяжести за счет натяжения пружины, соответствует работе сторонних сил в источнике электрического тока. Модель выразительно иллюстрирует, что только при наличии сторонних сил возможен постоянный ток в электрической цепи.

ОПЫТ 124. ПАДЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ВДОЛЬ ПРОВОДНИКА С ТОКОМ

Оборудование: 1) преобразователь высоковольтный или электрофорная машина, 2) электрометр, 3) штатив изолирующий, 4) два отрезка бумажной (телеграфной) ленты длиной по 80—100 см, 5) пробный шарик на изолирующей ручке, 6) легкоподвижная стрелка-индикатор из алюминиевой фольги на проволочном подвесе, 7) провода соединительные, 8) подставка изолирующая.

Для этого опыта в качестве проводника с большим сопротивлением применяют бумажную (телеграфную) ленту, на поверхность которой наносят мягким графитом равномерный проводящий слой по всей длине. Ленту разрезают на две части и собирают установку по рисунку 3-32. Ленты с одной стороны присоединяют к кондукто-

[1] Модель разработана Н. Н. Нечипоруком и подробно описана в сборнике «Физический эксперимент в школе», вып. 2. М., 1963, с. 20.

рам преобразователя или электрофорной машины, а другие концы закрепляют под винтовые зажимы на изолирующем штативе, чтобы линия была натянутой.

Сначала показывают, что при отсутствии тока (концы лент на изолирующем штативе не соединены между собой) заряженные ленты имеют одинаковый потенциал по всей длине. С этой целью пробным шариком, соединенным с электрометром, корпус которого заземлен, касаются ленты в разных ее точках и убеждаются, что везде показания электрометра одинаковы.

Затем соединяют место разрыва ленты и опять измеряют потенциалы вдоль всей линии. Теперь потенциалы в разных точках оказываются неодинаковыми, т. е. поверхность проводника, по которому идет ток, не является поверхностью равного потенциала (эквипотенциальной). У источника высокого напряжения показания электрометра будут максимальными. По мере же приближения к штативу наблюдается постепенное падение потенциала; и у штатива оно доходит до нуля.

Присоединив корпус электрометра к одному из кондукторов преобразователя (электрометр изолируют от стола), показывают другое распределение потенциала вдоль проводника.

Падение потенциала вдоль проводника с током означает, что существует составляющая напряженности электрического поля, направленная вдоль проводника; силовые линии в этом случае уже не перпендикулярны к поверхности проводника (в отличие от электростатического поля), а имеют некоторый наклон к направлению тока.

Чтобы продемонстрировать это отличие, подвешивают легкую стрелку-индикатор к верхнему проводу так, чтобы она могла свободно поворачиваться вдоль провода (рис. 3-32, в кружке).

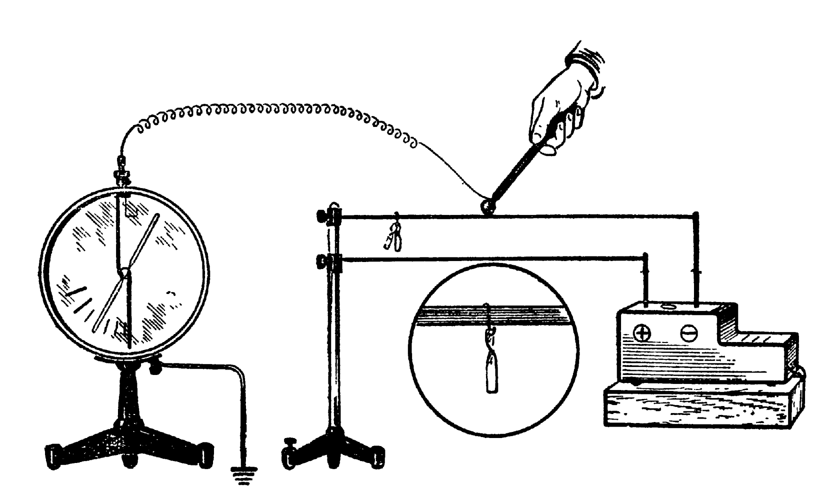


Рис. 3-32. Демонстрация падения потенциала вдоль проводника с током.

Сначала показывают, что стрелка располагается перпендикулярно к заряженному проводу, когда по нему не идет ток. С этой целью изолирующий штатив ставят на небольшую подставку, чтобы провода имели некоторый наклон к горизонту, а стрелка висела отвесно. При включении выпрямителя стрелка устанавливается в перпендикулярном положении к проводу. Полезно переставить стрелку в разные места на проводе (не слишком близко к месту разрыва) и повторить опыт.

После этого штатив опять устанавливают на столе и место разрыва проводов соединяют. Теперь при включении выпрямителя наблюдают, что стрелка устанавливается не перпендикулярно, а под некоторым углом к проводу, указывая на изменение направления силовых линий. Стрелку в этом случае тоже полезно подвешивать в разные места на проводе (не слишком далеко от места разрыва).

При изменении напряжения преобразователя изменяется и угол наклона стрелки-индикатора.

ОПЫТ 125. ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ. РЕОСТАТЫ, ПОТЕНЦИОМЕТРЫ, МАГАЗИНЫ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Оборудование: 1) амперметр демонстрационный с шунтом на 1 и 3А, 2) вольтметр демонстрационный на 5 В, 3) магазины сопротивлений — демонстрационный и лабораторный, 4) батарея аккумуляторов или выпрямитель, 5) реостаты со скользящим контактом на 6—10, 25—30 и 1000 Ом, 6) реостат рычажный демонстрационный, 7) две лампочки (3,5 В, 0,28 А) на подставках, 8) выключатель демонстрационный, 9) провода соединительные, 10) метр демонстрационный.

1. Собирают установку по рисунку 3-33. В цепь вводят постоянное сопротивление, например, 2 Ом и с помощью реостата устанавливают на зажимах магазина сопротивлений сначала напряжение 3 В. При этом амперметр покажет 1,5 А.

Затем уменьшают напряжение до 2 В, 1 В и каждый раз пока-

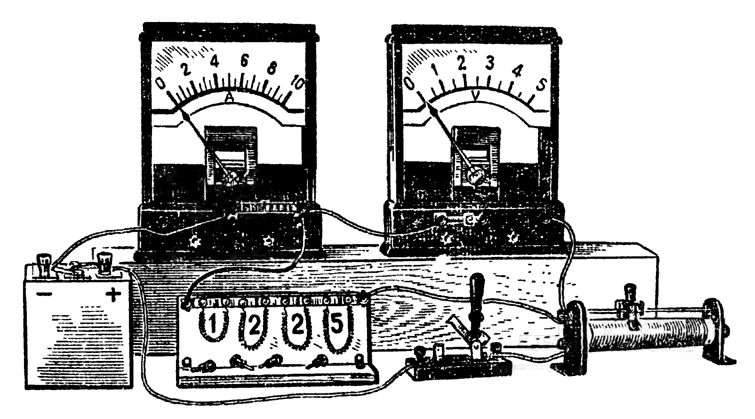


Рис. 3-33. Демонстрация закона Ома для участка цепи.

зания амперметра и вольтметра записывают в таблицу:

Сопротивление участка 2 Ом	
Напряжение, В	Сила тока, А
3	1,5
2	1
1	0,5

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что сила тока на данном участке цепи прямо пропорциональна напряжению на его концах.

После этого проводят второй опыт и выясняют зависимость силы тока от сопротивления участка цепи. С этой целью включают в магазине сопротивление сначала, например, 4 Ом и с помощью реостата доводят напряжение на этом участке до 2 В. Амперметр при этом покажет 0,5 А. Затем уменьшают сопротивление магазина, включая, например, 2, 1 Ом, и каждый раз с помощью реостата устанавливают постоянное напряжение 2 В. Показания амперметра для каждого опыта записывают в таблицу:

Напряжение 2 В	
Сопротивление, Ом	Сила тока, А
4	0,5
2	1
1	2

По полученным данным делают вывод, что сила тока на участке цепи обратно пропорциональна его сопротивлению.

Обобщая данные обоих опытов, делают вывод о том, что сила тока в участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению (закон Ома для участка цепи).

2. Большое практическое значение реостатов и магазинов сопротивлений требует повторения и расширения сведений об этих приборах, имеющихся у учащихся. При этом подробнее следует остановиться на применении реостата в качестве делителя напряжения — потенциометра.

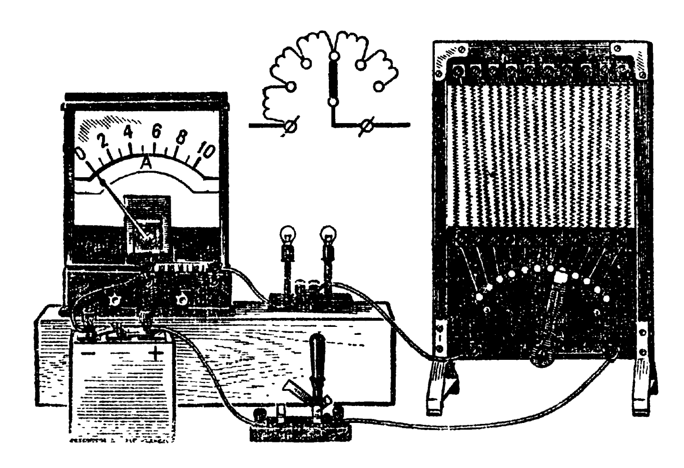


Рис. 3-34. Демонстрация действия рычажного реостата.

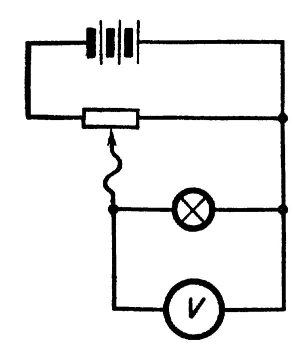


Рис. 3-35. Схема включения реостата в качестве потенциометра.

Сначала собирают установку, на которой повторяют устройство и действие рычажного реостата (рис. 3-34). Две лампы соединяют параллельно, чтобы увеличить величину тока и сделать тем самым заметнее изменения в показаниях амперметра при изменении сопротивления. Чтобы при объяснении устройства рычажного реостата учащиеся могли проследить путь тока, надо сзади за спиралями поставить белый настольный экран (прикрепить белый лист бумаги), а на классной доске начертить схему прибора, показанную на рисунке 3-34.

Обращают внимание на подбор реостатов по их паспортным данным: величине полного сопротивления, допустимой силе тока. Полезно сообщить несколько данных о приборах, наиболее распространенных в школьной практике.

После этого демонстрируют включение реостата как делителя напряжения — потенциометра. Установку собирают по схеме, изображенной на рисунке 3-35. На реостат с сопротивлением 25—30 Ом подают полное напряжение источника тока — батареи аккумуляторов ЗНКН-10, а регулируемое напряжение, составляющее только часть полного, снимают с ползунка и одного из зажимов реостата. В качестве нагрузки включают лампу (3,5 В; 0,28 А). Лампа и вольтметр с дополнительным сопротивлением на 5 Ом служат индикаторами.

Перемещая ползунок реостата, демонстрируют изменение напряжения, которое отмечается по вольтметру. Показывают пропорциональность снимаемого напряжения длине соответствующего участка реостата. Для этого сзади реостата помещают демонстрационный метр и отмечают положение ползунка и соответствующее напряжение.

При выборе реостата в качестве делителя напряжения и применения его в опытах необходимо иметь в виду, что источник тока испытывает нагрузку не только от цепи, присоединенной к делителю напряжения, но и прежде всего нагрузку, создаваемую реостатом. Реостат должен выдерживать без заметного нагревания наибольший ток, возникающий при максимальных нагрузках. При этом сопротивление цепи, на которую подается ток с делителя, должно быть больше, чем сопротивление самого реостата. В противном случае при приближении ползунка реостата к концу его обмотки во внешней цепи может возникнуть ток значительной величины, приводящий к нагреванию или даже к перегоранию обмотки реостата.

3. Ознакомление с магазином сопротивлений в порядке повторения и подготовки к практикуму проводят в форме решения несложного экспериментального упражнения по определению сопротивления при помощи амперметра и вольтметра. Опыт выполняют

на установке с демонстрационным магазином сопротивлений (рис. 3-33). В цепь последовательно включают амперметр с шунтом на 1 А и реостат, который служит для того, чтобы получать силу тока в целых делениях шкалы измерительного прибора.

Объясняют устройство магазина сопротивлений и правила обращения с ним. Включают какое-либо сопротивление (вынимают соответствующий штепсель) и, установив при помощи реостата необходимый ток, измеряют величину тока и напряжение на концах включенного сопротивления. На основании закона Ома для участка цепи находят величину этого сопротивления. Оно будет близко к обозначенному на приборе.

Повторяют опыт при других величинах сопротивлений, а также при последовательном включении нескольких сопротивлений.

Обращают внимание учащихся на величины допустимых токов для соответствующих сопротивлений магазина. Это необходимо учитывать при составлении электрической цепи. Полезно привести небольшую таблицу, которая имеется на демонстрационном магазине сопротивлений:

Сопротивление, Ом	Допустимая сила тока, А
1	2
2	2
5	1

После этого показывают общий вид лабораторного магазина сопротивлений, с которым учащиеся будут работать в практикуме, и объясняют правила обращения с ним, используя сведения из проведенной демонстрации.

ОПЫТ 126. ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Оборудование: 1) прибор для демонстрации изменения сопротивления проводника при нагревании, 2) батарея аккумуляторов 3НКН-10, 3) спиртовка, 4) провода соединительные.

Самодельный прибор (рис. 3-36) состоит из деревянной стойки высотой 50 см, шириной 8 см и смонтированных на ней деталей: патрона для электрической лампы на 6 В (лампа от осветителя для

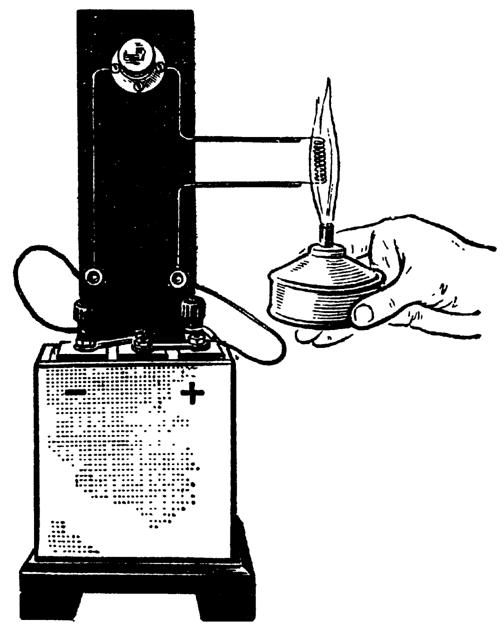


Рис. 3-36. Демонстрация изменения сопротивления проводника при нагревании.

теневой проекции), двух зажимов для подключения источника тока и спирали из стальной проволоки диаметром 0,3—0,5 мм и длиной приблизительно 0,5 м.

Детали прибора соединены последовательно толстым проводом, и места соединений имеют хорошие контакты. Это уменьшает общее сопротивление цепи. Чем бо́льшую часть общего сопротивления (включая и источник тока) составляет сопротивление нагреваемой спирали, тем лучше будет получаться опыт.

Подключив источник тока — батарею аккумуляторов — к зажимам на стойке, наблюдают свечение лампы. Затем подносят к спирали зажженную спиртовку и обращают внимание, как по мере нагревания проволоки лампа начинает светиться слабее. Наконец, свечение совсем прекращается, — это свидетельствует об увеличении сопротивления накаленной спирали по сравнению с сопротивлением холодной.

Убирают спиртовку и наблюдают, как постепенно восстанавливается свечение лампы: спираль остывает и ее сопротивление уменьшается.

Объясняют учащимся, что с изменением температуры металлического проводника меняется скорость теплового движения ионов кристаллической решетки и число столкновений электронов с ионами. Это приводит к изменению сопротивления проводника.

ОПЫТ 127. ПОДБОР ШУНТА К АМПЕРМЕТРУ И ДОБАВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ К ВОЛЬТМЕТРУ

Оборудование: 1) амперметр демонстрационный, 2) вольтметр демонстрационный, 3) батарея аккумуляторов 3НКН-10, 4) два реостата — 30 Ом, 5 А и 1000 Ом, 0,4 А, 5) малогабаритный высокоомный реостат на 20 кОм, 6) шунт самодельный из медной проволоки, 7) выключатель демонстрационный, 8) провода соединительные.

1. Для демонстрации шунтирования амперметра и изменения пределов измерения прибора собирают установку по рисунку 3-37.

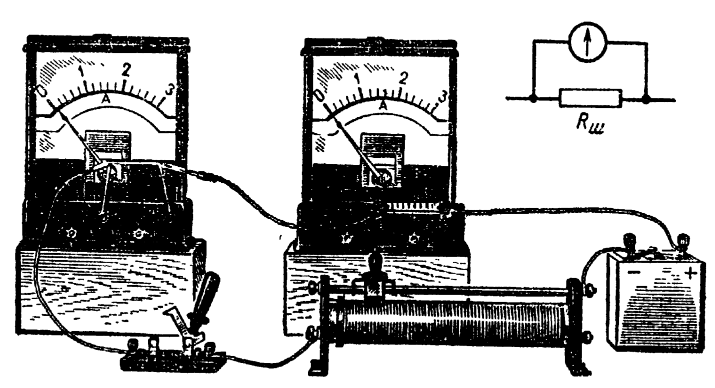


Рис. 3-37. Демонстрация шунтирования амперметра.

В цепь последовательно включают демонстрационный амперметр с шунтом на 3 А (этот прибор служит контрольным) и исследуемый прибор с самодельным шунтом. В качестве второго прибора применяют гальванометр от вольтметра.

Шунт изготавливают из медной проволоки длиной 270 мм и диаметром 0,7 мм; ее изгибают в виде буквы П с горизонтальным участком в 75 мм и свободные концы поджимают под винтовые зажимы — средний и с обозначением «+». Шкалу для этого прибора надо иметь такую же, как и у контрольного амперметра, т. е. с 15 делениями и оцифровкой 0—1—2—3. Ее можно нанести на чистой поверхности одной из шкал гальванометра или воспользоваться самодельной шкалой с оцифровкой 0—1—2—3. Обозначение прибора закрывают бумажной шторкой с надписью «А». Для включения шунта в цепь пользуются пружинящими зажимами типа «крокодил» (от авометра).

Сначала располагают зажимы у горизонтального участка шунта и включают ток. Пользуясь реостатом, устанавливают величину тока по контрольному прибору 1 А и наблюдают, что и другой прибор показывает также 1 А.

Обращают внимание учащихся на необходимость правильного включения шунта: цепь присоединяют к шунту, а не к прибору (рис. 3-37, вверху). Отключив шунт от прибора, по контрольному амперметру наблюдают, что величина тока в цепи почти не изменилась, т. е. весь ток идет главным образом через шунт, сопротивление которого во много раз меньше сопротивления прибора. Параллельное подключение прибора к шунту почти не изменяет величину тока в цепи, т. е. в прибор ответвляется лишь небольшая часть общего тока.

Зная общий ток в цепи I и токи через шунт $I_ш$ и через гальванометр $I_г$, а также учитывая, что при параллельном включении токи обратно пропорциональны сопротивлениям, выводят формулу для расчета сопротивления шунта:

$$R = \frac{R_г}{n - 1},$$

где $R_г$ — сопротивление гальванометра, n — величина, показывающая, во сколько раз ток в общей цепи больше тока, проходящего через гальванометр.

После этого демонстрируют изменение предела измерения амперметра при изменении величины сопротивления шунта. С этой целью переставляют один из зажимов на середину горизонтального участка проволочного шунта и наблюдают, что показания исследуемого прибора стали в 2 раза меньше, т. е. 0,5 оцифрованного деления, хотя ток через контрольный прибор остался прежним — 1 А.

Теперь исследуемый прибор позволяет измерять ток уже не до 3 А, как было раньше, а в два раза больше, т. е. 6 А.

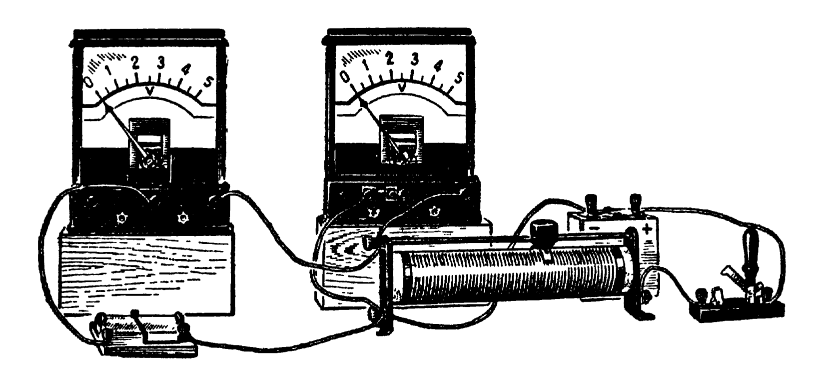


Рис. 3-38. Демонстрация подбора дополнительных сопротивлений к вольтметру.

Затем уменьшают предел измерения исследуемого прибора в 2 раза. Для этого зажимы переставляют приблизительно на середины вертикальных участков П-образного шунта и убеждаются, что чувствительность прибора возросла в 2 раза. Если пружинящие зажимы подключать вблизи винтовых зажимов, то чувствительность прибора увеличится в 3 раза.

2. Чтобы продемонстрировать возможность расширения пределов измерения вольтметра при помощи добавочного сопротивления, собирают установку по рисунку 3-38. Демонстрационный вольтметр с дополнительным сопротивлением на 5 В подключают к зажимам потенциометра (реостат на 1000 Ом) и устанавливают величину напряжения, например 1 В.

В качестве исследуемого вольтметра применяют гальванометр от амперметра. К его зажимам — среднему и с обозначением «+» — подключают переменный резистор на 20 кОм. Для этого удобно воспользоваться керамическим резистором, установленным на панельке с зажимами для подключения его в цепь и ползунком для изменения величины сопротивления.

Шкалу для исследуемого прибора удобнее сделать такой же, как и у контрольного вольтметра, т. е. с оцифровкой 0—1—2—3—4—5. Ее можно нанести на свободной (обратной) стороне шкалы гальванометра или воспользоваться шкалой 0—10 от амперметра, заменив ее оцифровку. Обозначение прибора закрывают бумажной шторкой с надписью: «V».

После такой предварительной подготовки включают в цепь измерительные приборы. При этом ползунок надо поставить в такое положение (приблизительно на середину), чтобы показания испытуемого прибора были 1 В, как и у контрольного.

Затем увеличивают (и уменьшают) величину дополнительного сопротивления и наблюдают изменение показаний испытуемого прибора, хотя контрольный прибор все время показывает неизменную величину напряжения на данном участке цепи.

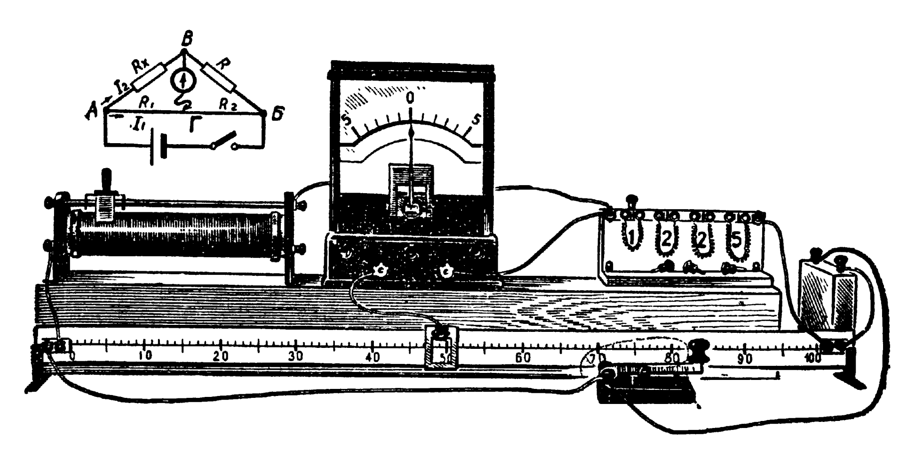


Рис. 3-39. Установка для демонстрации мостиковой схемы с реохордом.

Объясняют, что дополнительное сопротивление $R_{доп}$ рассчитывают по формуле

$$R_{доп} = R_В (n - 1),$$

где $R_В$ — сопротивление вольтметра, а n — число, показывающее, во сколько раз расширяются пределы измерения прибора.

ОПЫТ 128. МОСТИК УИТСТОНА

Оборудование: 1) реохорд демонстрационный, 2) гальванометр демонстрационный, 3) гальванический элемент или аккумулятор, 4) магазин сопротивлений демонстрационный, 5) реостат на 6—10 Ом, 6) ключ телеграфный, 7) провода соединительные, 8) ящики-подставки — 2 шт.

Для демонстрации опыта собирают мостиковую схему с реохордом (рис. 3-39). Демонстрационный реохорд представляет собой линейку длиной 1 м с натянутой вдоль нее калиброванной проволокой из константана или манганина. Линейка устанавливается на ножках в горизонтальном положении и имеет хорошо видимые деления. Вдоль проволоки перемещается движок, имеющий с ней надежный контакт.

В качестве неизвестного сопротивления берут реостат со скользящим контактом. Это позволяет быстро менять величину измеряемого сопротивления. Источником питания может служить один гальванический элемент или аккумулятор.

Чтобы определить величину неизвестного сопротивления R_x, включают полностью известное сопротивление R в демонстрационном магазине, т. е. все штепсели вынимают (10 Ом). Ползун на реохорде располагают на середине линейки и нажимают на ключ. При этом стрелка отклонится в ту или другую сторону от нуля.

Тогда перемещают движок на реохорде влево или вправо и добиваются отсутствия тока в гальванометре. При этом необходимо несколько раз замкнуть и разомкнуть цепь ключом, чтобы точнее определить то положение движка, при котором ток в гальванометре отсутствует и, следовательно, потенциалы в точках *А* и *Б* равны. В этом случае падения напряжения на участках R_x' и R_1, а также R и R_2 соответственно равны между собой

$$R_x = R\frac{l_1}{l_2}.$$

Меняют величину известного сопротивления в магазине, например вставляют штепсели в гнезда над цифрами *1* и *2*, и опять находят положение движка на реохорде, при котором отсутствует ток в гальванометре. Теперь это положение при том же неизвестном сопротивлении оказывается другим. Однако величина неизвестного сопротивления получается такой же, как и в первом случае.

Величину сопротивления в магазине надо подбирать так, чтобы она была близка к величине измеряемого. В таком случае положение движка оказывается в средней части реохорда и погрешности измерений будут минимальными.

В мостиковых схемах, встречающихся в учебной литературе, источник тока обычно присоединен к концам реохорда *А* и *Б*, а гальванометр — к точкам *В* и *Г*. Однако такое размещение не является обязательным. Равновесие мостика не нарушается, если гальванометр и источник тока поменять местами. Такой способ включения является более рациональным: две параллельные ветви имеют близкие по величине сопротивления, вследствие чего не перегружается и не перегревается провод реохорда. Кроме того, контакт ползунка с проводом реохорда все время находится под большим напряжением и, таким образом, оказывается более надежным.

Этот способ включения применен в практикуме в работе с мостиком Уитстона, на что и следует обратить внимание учащихся в порядке подготовки к предстоящему практикуму.

ОПЫТ 129. ЭДС И ВНУТРЕННЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКА ТОКА. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ

Оборудование: 1) ванна с электродами — гальванический элемент демонстрационный, 2) вольтметр демонстрационный с дополнительным сопротивлением на 1 В, 3) амперметр демонстрационный с шунтом на 1 А, 4) реостат на 20 Ом, 5) два щупа, 6) дополнительное сопротивление 9 кОм, 7) выключатель демонстрационный, 8) провода соединительные.

Перед опытом подготавливают гальванический элемент (рис. 3-40). В прозрачную прямоугольную ванну размером приблизительно 24 × 2,5 × 10 см наливают раствор серной кислоты и двухромовокислого калия (100 частей H_2O, 37 частей H_2SO_4 и 16 частей $K_2Cr_2O_7$).

Медный и цинковый электроды предварительно очищают наждачной бумагой.

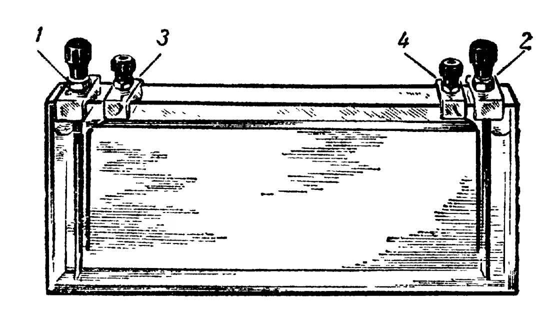


Рис. 3-40. Гальванический элемент демонстрационный.

Затем электроды укрепляют в пластмассовых держателях с винтовыми зажимами *1* и *2* для включения элемента в цепь. На таких же держателях *3* и *4* укреплены два щупа, сделанные из медного провода диаметром 0,8 мм в хлорвиниловой изоляции. С одной стороны провода изоляция срезана. Такие щупы могут быть опущены в раствор и подведены очень близко (на толщину изоляции) к пластинам элемента. Держатели вместе с пластинами и щупами легко снимаются и могут быть закреплены снаружи ванны, когда элемент не работает.

Для опыта установку с гальваническим элементом собирают по рисунку 3-41 (схема соединений показана вверху). Не замыкая цепь ключом, помещают на короткое время в электролит цинковую и медную пластинки и отмечают показание вольтметра (1,02 В). Перемещают электроды внутри элемента ближе друг к другу, а также меняют величину погружения их в электролит и всякий раз наблюдают, что показания вольтметра не изменяются. Следовательно, 1,02 В — это некоторая постоянная величина, характеризующая данный источник тока и не зависящая от его геометрических размеров. Эту величину принято называть ЭДС источника.

Затем замыкают ключ и отмечают, что по цепи пошел ток, а

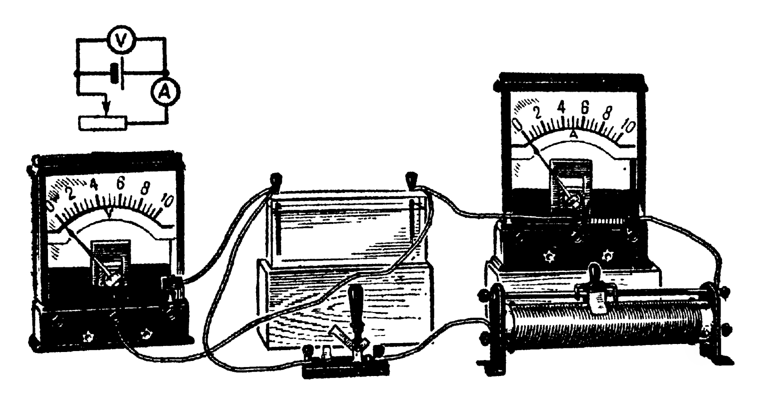


Рис. 3-41. Установка для введения понятий ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока.

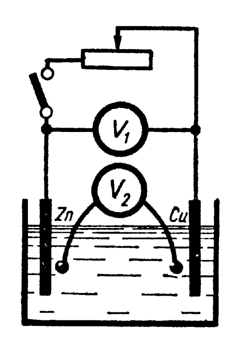


Рис. 3-42. Схема установки для демонстрации закона Ома для полной цепи.

вольтметр показывает теперь другую, меньшую величину — напряжение. Оставляя внешнее сопротивление постоянным, изменяют снова положение пластин в электролите и наблюдают за показаниями амперметра. Устанавливают на опыте, что величина тока в цепи изменяется. Это связано с изменением сопротивления между пластинами, т. е. с изменением только внутреннего сопротивления элемента, так как внешняя цепь оставалась неизменной. Увеличивают или уменьшают внешнее сопротивление и обращают внимание на изменения величины напряжения на зажимах источника тока.

Продолжая опыт, измеряют одновременно падение напряжения на внешнем и внутреннем участках цепи. В качестве второго вольтметра на 1 В берут гальванометр от амперметра (шкала с оцифровкой 0—10) и подключают к нему дополнительное сопротивление 9 кОм. Этот вольтметр присоединяют к щупам. Принципиальная схема соединений показана на рисунке 3-42.

Замкнув цепь, вводят такое сопротивление реостата, чтобы вольтметр V_1 на внешнем участке показывал, например, 0,9 В, и отмечают показание вольтметра V_2, которое равно 0,12 В. Затем уменьшают сопротивление нагрузки, чтобы напряжение, показываемое вольтметром V_1, было 0,8 В. При этом вольтметр V_2 показывает 0,23 В. Таким образом делают несколько измерений и результаты записывают на классной доске в таблицу:

№ опытов	Падение напряжения во внешней цепи U_1, В	Падение напряжения во внутренней цепи U_2, В	Падение напряжения во всей цепи, В
1	0,9	0,12	1,02
2	0,8	0,23	1,03
3	0,7	0,31	1,01
4	0,6	0,42	1,02
5	0,5	0,51	1,01
		Среднее:	1,02

Из таблицы видно, что сумма падений напряжения на внешнем и внутреннем участках цепи в пределах допустимых погрешностей опыта есть величина постоянная и равная электродвижущей силе источника.

Следовательно,

$$E = U_1 + U_2, \text{ или } E = IR + Ir.$$

Отсюда получают математическое выражение закона Ома для полной цепи

$$I = \frac{E}{R + r},$$

где E — ЭДС, r — внутреннее сопротивление источника тока, R — сопротивление внешней цепи.

ОПЫТ 130. ЗАВИСИМОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЗАЖИМАХ ИСТОЧНИКА ТОКА ОТ НАГРУЗКИ; ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА

Оборудование: 1) два-три гальванических элемента или батарея КБС-0,5, 2) вольтметр демонстрационный, 3) амперметр демонстрационный с шунтом на 1 А, 4) реостат на 20 Ом, 5) выключатель демонстрационный, 6) провода соединительные.

Собирают электрическую цепь по схеме, изображенной на рисунке 3-43. Гальванические элементы соединяют последовательно или пользуются свежей батареей от карманного фонаря.

Сначала измеряют вольтметром ЭДС источника (при разомкнутой цепи) и записывают ее на классной доске. Затем замыкают цепь и обращают внимание учащихся, что вольтметр теперь показывает меньше, т. е. падение напряжения на внешней цепи. При помощи реостата изменяют 4—5 раз значения нагрузки и показания амперметра и вольтметра записывают в таблицу:

I, А	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
U, В	4,5	4,1	3,6	3,2	2,8	2,4

По результатам опыта строят график (рис. 3-44) зависимости напряжения от величины тока в электрической цепи. Дополнив график горизонтальной прямой $E = \text{const}$, объясняют учащимся распределение напряжений на внешнем и внутреннем участках цепи. Для любого значения тока в пределах графика ордината до наклонной прямой дает значение падения напряжения на внешней цепи ($U_{\text{внеш}}$), а отрезок от нее до горизонтальной прямой $E = \text{const}$ показывает падение напряжения на внутренней цепи ($U_{\text{внутр}}$). При этом сумма падений напряжения остается величиной постоянной. Это было показано в предыдущем опыте.

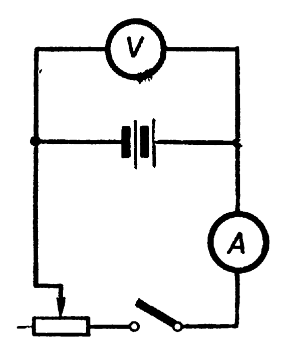


Рис. 3-43. Схема цепи для демонстрации зависимости напряжения источника тока от нагрузки.

Продолжив наклонную прямую до пересечения с горизонтальной осью координат (точка A), можно найти величину тока короткого замыкания. Напряжение на за-

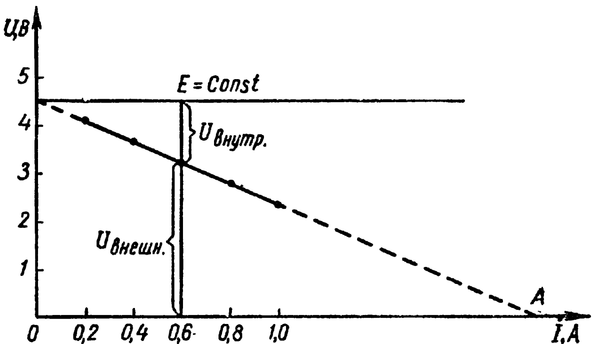


Рис. 3-44. График зависимости напряжения на нагрузке от величины тока в цепи

жимах источника в этом случае становится равным нулю, а ток достигает своего максимального значения, определяемого величиной внутреннего сопротивления источника.

Объясняют учащимся, почему короткое замыкание представляет различную опасность для разных источников тока. Например, у гальванических элементов внутреннее сопротивление имеет заметную величину, поэтому ток короткого замыкания у них сравнительно небольшой. У аккумуляторов же внутреннее сопротивление мало (порядка 0,1—0,01 Ом), поэтому ток короткого замыкания у них большой и может привести к разрушению пластин.

Полученные экспериментально численные данные для построения графика дают возможность определить внутреннее сопротивление источника. Этим следует воспользоваться и дать учащимся такое задание в качестве подготовки к лабораторной работе на эту тему.

ОПЫТ 131. СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В БАТАРЕИ

Оборудование: 1) три одинаковых гальванических элемента или три аккумулятора НКН-10, 2) вольтметр демонстрационный, 3) провода соединительные.

Подбирают заранее три элемента с одинаковыми ЭДС. Подключают вольтметр поочередно к зажимам каждого элемента и измеряют их ЭДС. В результате измерений получают $E_1 = E_2 = E_3$.

Затем соединяют элементы в батарею последовательно и измеряют ЭДС батареи:

$$E_{бат} = E_1 + E_2 + E_3, \text{ или } E_{бат} = nE_{эл}.$$

Соединяют элементы в батарею параллельно и опять измеряют ЭДС, которая теперь оказывается равной ЭДС одного элемента:

$$E_{бат} = E_{эл}.$$

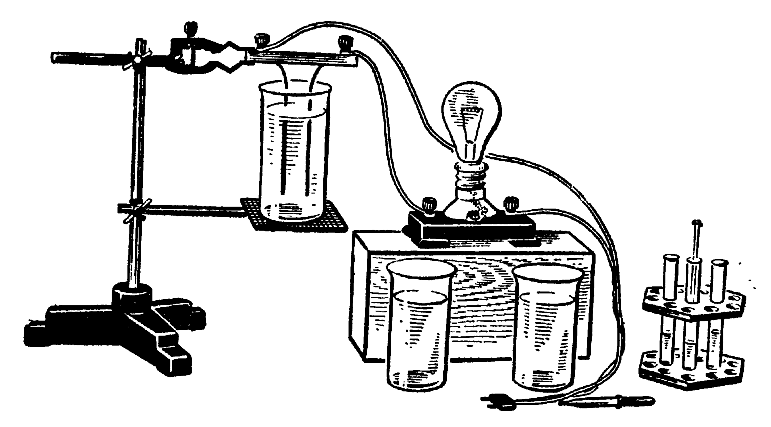


Рис. 3-45. Электропроводность воды и растворов соли и кислоты.

Внутреннее сопротивление батареи непосредственно не измеряют, а вычисляют при помощи закона Ома. При последовательном соединении обобщенный закон Ома для полной цепи записывается так:

$$I = \frac{nE}{R + nr},$$

где E — ЭДС батареи, а nr — ее внутреннее сопротивление; при параллельном соединении:

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}},$$

где $\frac{r}{n}$ — внутреннее сопротивление батареи.

§ 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

ОПЫТ 132. СРАВНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ И РАСТВОРОВ СОЛИ И КИСЛОТЫ

Оборудование: 1) панелька с двумя электродами, 2) стаканы химические с дистиллированной водой — 3 шт., 3) соль поваренная и песок сахарный — 5—10 г, 4) раствор серной кислоты в пробирке, 5) лампа электрическая 15—25 Вт, 127 В на подставке, 6) пипетка, 7) штатив универсальный, 8) палочка стеклянная, 9) провода соединительные, 10) проводник соединительный на изолирующей ручке.

Собирают установку по рисунку 3-45. Панельку с двумя электродами из алюминиевой проволоки диаметром 4 мм зажимают в лапке штатива. Электроды соединяют последовательно с лампой накаливания и включают в сеть переменного тока напряжением 127 В.

Сначала помещают электроды в стакан с дистиллированной водой и обнаруживают, что лампа не светится. Дистиллированная вода не проводит электрический ток. Чтобы убедиться, что на электродах имеется напряжение, соединяют их при помощи проводника на изолирующей ручке. Лампа загорается.

После этого растворяют в воде немного поваренной соли и наблюдают появление свечения лампы, сначала слабое, а по мере добавления соли более яркое.

Затем демонстрируют электропроводность раствора кислоты. Для этого берут другой стакан с чистой дистиллированной водой и, добавляя по каплям из пипетки раствор серной кислоты, демонстрируют, как постепенно лампа начинает светиться все ярче. Опыт показывает,что с увеличением концентрации раствора увеличивается число диссоциированных молекул или ионов, т. е. растет число носителей электричества.

Однако не все растворенные в воде вещества диссоциируют. Чтобы убедиться в этом, в третьем стакане с дистиллированной водой растворяют 1—2 чайные ложки сахара и наблюдают за лампой, которая в продолжение всего опыта не загорается.

Наконец, демонстрируют слабую электропроводность обычной питьевой воды, в которой всегда имеется небольшое количество растворенных солей.

ОПЫТ 133. ДВИЖЕНИЕ ИОНОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Оборудование: 1) пластинка стеклянная 120 × 150 мм на штативе, 2) два электрода с пружинящими зажимами, 3) выпрямитель универсальный, 4) бумага фильтровальная, 5) электролиты: раствор поваренной соли в плоской кювете и аммиачный раствор хромата меди в пробирке, 6) осветитель для теневой проекции, 7) провода соединительные.

Цель опыта — показать одновременное движение в электрическом поле как положительно, так и отрицательно заряженных ионов. Для этого наиболее подходящим электролитом является аммиачный раствор хромата меди $[Cu(NH_3)_4]CrO_4$. В растворе эта комплексная соль диссоциирует на положительно заряженные ионы меди $Cu(NH_3)_4^{++}$ темно-синего цвета и отрицательно заряженные ионы кислотного остатка CrO_4^{--}, имеющие желтую окраску.

Если хромата меди нет, то можно приготовить раствор этой соли. К насыщенному раствору хлорной меди приливают насыщенный раствор хромата калия. Выпадающий осадок растворяют в 25-процентном растворе аммиака, прибавляя его небольшими порциями до исчезновения осадка.

Для демонстрации опыта собирают установку по рисунку 3-46. На стеклянную пластинку *1*, укрепленную в лапке штатива, накладывают фильтровальную бумагу *2*, смоченную в растворе поваренной соли. Затем берут узкую полоску фильтровальной бумаги (лучше в несколько слоев) и, смочив ее в растворе комплексной соли, помещают посередине фильтровальной бумаги *3*.

Справа и слева на бумаге закрепляют электроды *4* с пружинящими зажимами, которые соединяют с универсальным выпрямителем (зажимы ±250 В).

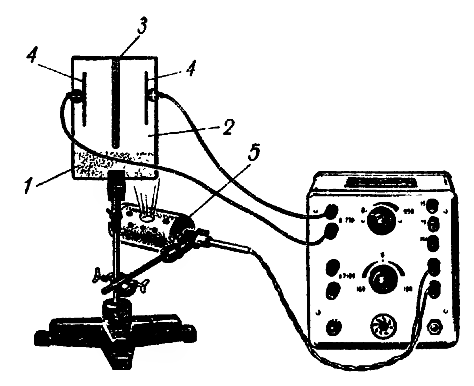


Рис. 3-46. Движение ионов в электрическом поле.

Включив выпрямитель и установив с помощью ручки потенциометра почти полное напряжение 250 В, обращают внимание учащихся, как от средней полоски, имеющей зеленую окраску, постепенно начинает распространяться желтой полосой в сторону анода отрицательно заряженные ионы CrO_4^{--}, а в сторону катода — синим фронтом положительно заряженные ионы $Cu(NH_3)_4^{++}$.

Менее выразительно описанный опыт можно продемонстрировать на той же установке, воспользовавшись распространенными в физических кабинетах растворами медного купороса и двухромовокислого калия $K_2Cr_2O_7$. В этом случае на фильтровальную бумагу, пропитанную раствором поваренной соли, накладывают две узкие полоски фильтровальной бумаги: одну, смоченную в растворе $CuSO_4$, а другую — в растворе $K_2Cr_2O_7$. Эти полоски поджимают под электроды: с медным купоросом — у анода, а с двухромовокислым калием — у катода. При включении напряжения уже через несколько секунд наблюдается перемещение хорошо заметной желтой полосы от катода к аноду и слабо окрашенной синей — от анода к катоду.

Обращают внимание учащихся, что ширина окрашенных полос, образовавшихся за определенное время наблюдения, неодинакова; это позволяет сделать заключение о разной скорости движения различных ионов.

Чтобы улучшить условия наблюдения за распространением цветных полос при электролизе, полезно смоченную бумагу на стеклянной пластинке подсветить, воспользовавшись осветителем для теневой проекции (рис. 3-46). Его можно укрепить на штативе, немного сбоку или снизу, чтобы прямой свет не попадал в глаза учащихся.

ОПЫТ 134. ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ПРИ НАГРЕВАНИИ

Оборудование: 1) панелька с двумя электродами из алюминиевой проволоки, 2) стаканчик химический с подкисленной водой, 3) лампа электрическая 15—25 Вт на подставке, 4) штатив универсальный, 5) газовая горелка или спиртовка, 6) провода соединительные.

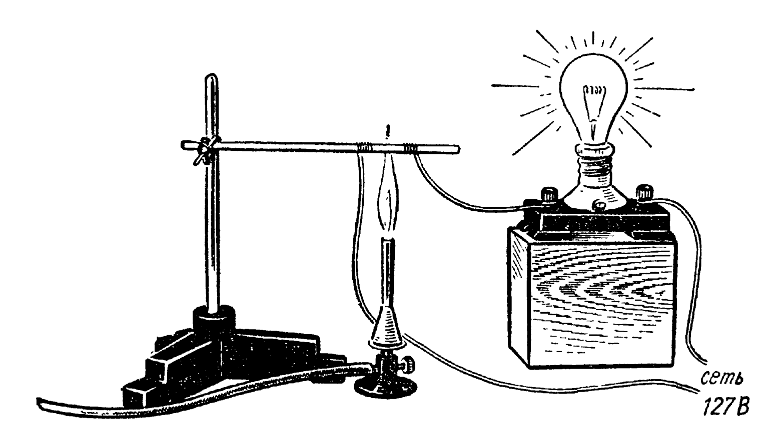


Рис. 3-47. Электропроводность стекла при нагревании.

Собирают установку, как изображено на рисунке 3-45, и включают ток. Воду в стакане заранее подкисляют (пускают несколько капель серной кислоты) так, чтобы при погружении в нее электродов волосок лампы слегка накаливался.

После этого подставляют под стакан зажженную газовую горелку или спиртовку (при небольшом стаканчике) и наблюдают, как по мере нагревания электролита лампа начинает все ярче светиться.

Таким образом, опыт показывает, что сопротивление электролита с повышением температуры уменьшается (электропроводность увеличивается). Объясняют наблюдаемое явление усилением при нагревании процесса диссоциации и увеличением подвижности ионов вследствие уменьшения вязкости жидкости.

ОПЫТ 135. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ СТЕКЛА ПРИ НАГРЕВАНИИ

Оборудование: 1) стеклянная палочка или трубка длиной 10—15 см, диаметром 5—7 мм, 2) лампа электрическая 100—150 Вт на подставке, 3) штатив универсальный, 4) горелка газовая или спиртовка, 5) два куска медной проволоки диаметром 1—1,5 мм, 6) провода соединительные.

Чтобы продемонстрировать электропроводность стекла (твердый электролит) при размягчении, собирают установку по рисунку 3-47. На стеклянную палочку плотно навивают в двух местах медную проволоку по 4—5 витков. Между спиралями оставляют пространство в 10—15 мм. Свободные концы проволок соединяют через лампу накаливания с осветительной сетью и обращают внимание учащихся, что лампа при этом не горит. Стекло при обычной температуре является хорошим изолятором.

После этого постепенно прогревают стеклянную палочку в промежутке между навитыми проволоками и доводят ее до красного каления. Обращают внимание, что палочка размягчается (она

прогибается под действием собственной тяжести) и лампа начинает светиться, указывая на электропроводность стекла в таком состоянии.

Придерживая свободный конец стеклянной палочки рукой, отставляют горелку. Однако стекло не остывает. Теперь оно разогревается проходящим через него током. Аккуратно вытягивая или сжимая размягченную палочку, можно поддерживать горение лампы в течение длительного времени.

Объясняют наблюдаемое явление ионной проводимостью стекла при его расплавлении.

ОПЫТ 136. ЭЛЕКТРОЛИЗ ПОДКИСЛЕННОЙ ВОДЫ. ЗАКОНЫ ФАРАДЕЯ

Оборудование: 1) газовый вольтаметр, 2) амперметр демонстрационный с шунтом на 1 А, 3) часы, 4) соединительные провода, 5) метр демонстрационный, 6) спички.

Газовый вольтаметр (прибор Гофмана), предназначенный для электролиза воды, состоит из трех сообщающихся трубок (рис. 3-48). Две из них имеют вверху притертые краны *1*, а третья — воронку шарообразной формы *2*. Электроды *3* из платинита впаяны внизу трубок, предназначенных для собирания газов. От электродов сделаны выводы к винтовым зажимам, установленным на основании прибора для подключения к источнику постоянного тока.

Через шарообразную воронку в прибор при открытых кранах наливают подкисленную воду (10—15-процентный раствор H_2SO_4) так, чтобы она заполнила обе трубки до кранов, после чего краны закрывают и подключают прибор через амперметр к источнику постоянного тока — выпрямителю электрораспределительного щита. На этом заканчивается подготовка прибора.

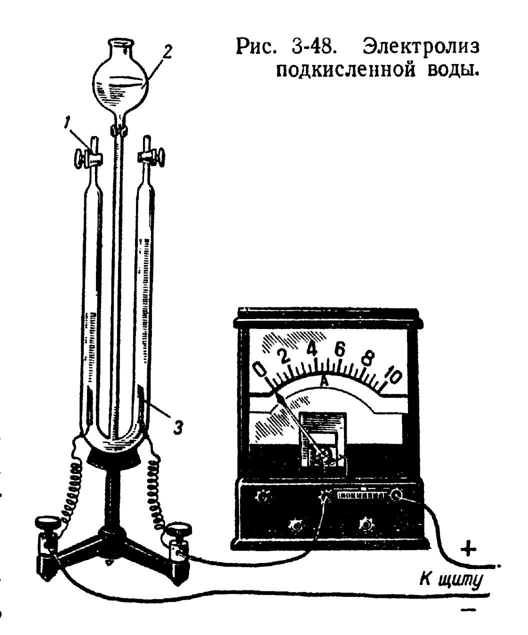


Рис. 3-48. Электролиз подкисленной воды.

Устанавливают величину тока приблизительно 0,4—0,5 А и одновременно с включением электрической цепи замечают время по часам. Когда на катоде соберется приблизительно $^2/_3$ трубки водорода, ток выключают и отмечают время окончания опыта. Обращают внимание, что кислорода на аноде получается в два раза меньше.

После этого исследуют образовавшиеся газы. Осторожно приоткрывая кран,

выпускают водород в опрокинутую над краном пробирку. Затем подносят снизу пробирки горящую спичку и сжигают водород, который в смеси с кислородом воздуха образует гремучий газ и взрывается с резким хлопком. Кислород выпускают из крана слабой струей на тлеющую лучинку; она при этом ярко вспыхивает.

После этого повторяют опыт при токе, в два раза меньшем, и убеждаются, что за то же время выделившиеся количества газов уменьшились пропорционально величине заряда, протекшего через электролит $m \sim q$.

Сравнивая объемы водорода и кислорода, находят, что выделившиеся массы их относятся как 1 : 8, т. е. пропорционально их химическим эквивалентам $m \sim \frac{A}{n}$.

При работе с прибором следует в начале опыта пропустить через прибор небольшой ток, чтобы вода была несколько насыщена кислородом, привести прибор в начальное состояние и после этого производить опыт. По окончании опыта измеряют объемы не сразу, а выжидают некоторое время, чтобы пузырьки газов все поднялись кверху.

ОПЫТ 137. ЭЛЕКТРОЛИЗ РАСТВОРА МЕДНОГО КУПОРОСА

Оборудование: 1) вольтаметр с двумя угольными и медными электродами и раствором медного купороса, 2) батарея аккумуляторов 3НКН-10, 3) ванна для проекции на стержне и вставка к ней с двумя медными электродами, 4) проекционный аппарат, 5) выключатель демонстрационный, 6) провода соединительные.

Сначала показывают учащимся два черных угольных стержня, которые погружают в водный раствор медного купороса вольтаметра. Затем собирают простую электрическую цепь из вольтаметра, ключа и батареи аккумуляторов (рис. 3-49). При этом следят за тем, чтобы хорошо было видно присоединение положительного полюса источника тока к одному угольному стержню, а отрицательного — к другому.

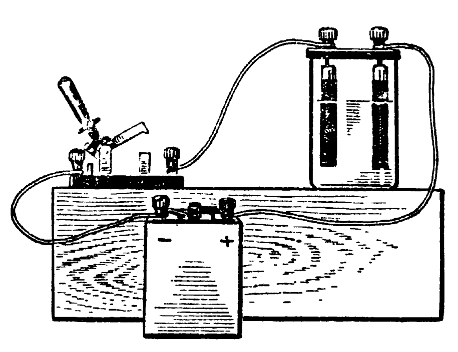


Рис. 3-49. Выделение меди на угольном катоде.

Включают ток на 25—30 с, после чего вынимают электроды и показывают их учащимся. На катоде хорошо будет виден розоватый налет меди.

Переменив местами электроды на вставке, вновь включают ток. Через короткое время показывают, что электрод, ранее покрытый медью, очистился, а второй покрылся медью.

Поясняют, что металл всегда выделяется на электроде, соединенном с отрицательным полюсом источника тока, т. е. на катоде.

После опыта угольный электрод, покрытый медью, включают в цепь так, чтобы он служил анодом, а в качестве катода вставляют медный электрод. Через некоторое время после замыкания рубильника угольный электрод полностью очищается от меди.

Как один из вариантов описанного опыта можно показать электролиз медного купороса в проекции на экран. Для этого перед конденсором проекционного аппарата устанавливают плоскопараллельную кювету с вставкой, имеющей два медных электрода в виде стержней. В кювету наливают раствор медного купороса и при помощи объектива с оборотной призмой получают на экране четкое прямое изображение электродов.

Затем подключают к электродам источник постоянного тока (батарею аккумуляторов или выпрямитель от щита) и при помощи реостата устанавливают ток порядка 0,5—1 А. Через небольшое время на экране хорошо видно, как выделение меди на катоде увеличивает его размеры. В то же время анод делается тоньше, а образующийся возле него медный купорос, растворяясь в воде, стекает с электрода вниз тонкой синей струйкой. При перемене полюсов наблюдается обратная картина.

Очевидно, описанным приемом можно показать электролиз и других солей металлов, например уксуснокислого свинца. Раствор приготовляют заранее, чтобы он отстоялся, или добавляют в него для просветления несколько капель уксусной кислоты. Электроды берут свинцовые.

Получив на экране отчетливое изображение электродов, включают ток и наблюдают, как на катоде постепенно нарастают кристаллы свинца в виде причудливого образования («сатурново дерево»).

ОПЫТ 138. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА И АККУМУЛЯТОРА

Оборудование: 1) набор по электролизу с цинковой, медной, угольной и двумя свинцовыми пластинами, 2) кювета для проекции с цинковым и медным электродами, 3) раствор серной кислоты, 4) проекционный аппарат, 5) амперметр демонстрационный, 6) выпрямитель ВС-4-12 или машина постоянного тока, 7) панелька с маловольтными лампочками, 8) звонок электрический демонстрационный, 9) осветитель с лампой, 10) реостат, 11) переключатель однополюсный, 12) крепкий раствор двухромовокислого калия, 13) воронка, 14) провода соединительные.

1. Сначала собирают простейший гальванический элемент из цинковой и медной пластин, опущенных в 10—15-процентный раствор серной кислоты, и демонстрируют его действие, используя электрическую лампу.

Заменив медный электрод угольным, повторяют опыт и замечают, что лампа горит немного ярче (ЭДС полученного элемента 1,4 В). Вместо лампы в качестве индикатора тока включают электрический звонок, который через непродолжительное время прекращает

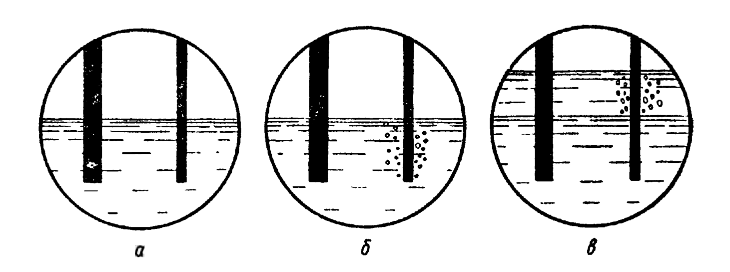


Рис. 3-50. К опыту с гальваническим элементом.

работать. Чтобы возобновить работу элемента, необходимо удалить с медного или угольного электрода газовый слой. Для этого вынимают электрод, обмывают его чистой водой и вытирают. Элемент снова начинает действовать.

2. Для демонстрации действия химического деполяризатора, например двухромовокислого калия ($K_2Cr_2O_7$), подготавливают плоскопараллельную кювету с простой вставкой, имеющей два электрода в виде небольших пластин из цинка и меди; причем цинковую пластину делают немного толще медной и амальгамируют ее. Для этого цинк тщательно вычищают наждачной бумагой и погружают на очень короткое время в слабый раствор серной кислоты; затем с помощью чистой тряпочки или щеточки растирают каплю ртути, чтобы нанести тонкий слой ее по всей цинковой пластине и получить блестящую поверхность[1].

Кювету наполовину заполняют раствором серной кислоты, располагают перед конденсором проекционного аппарата и при помощи объектива с оборотной призмой получают на экране отчетливое изображение обоих электродов, опущенных наполовину в электролит (рис. 3-50, *а*).

При помощи соединительного проводника замыкают электроды элемента, включая тем самым нагрузку, и наблюдают, что теперь на медном электроде выделяются пузырьки водорода (рис. 3-50, *б*).

После этого осторожно через воронку, опущенную до дна, в кювету наливают крепкий раствор двухромовокислого калия (сильный окислитель) так, чтобы светлый электролит оказался сверху. Опять соединяют проводником электроды и наблюдают на экране, что теперь образование пузырьков газа происходит только в верхней части, т. е. там, где нет деполяризатора (рис. 3-50, *в*).

3. Для демонстрации принципа действия аккумулятора собирают его модель. Закрепляют в специальной вставке два одинаковых свинцовых электрода и опускают их в раствор серной кислоты, налитый в химический стакан.

[1] Необходимо соблюдать осторожность при работе с ртутью; амальгамирование надо проводить в вытяжном шкафу кабинета химии или на открытом воздухе.

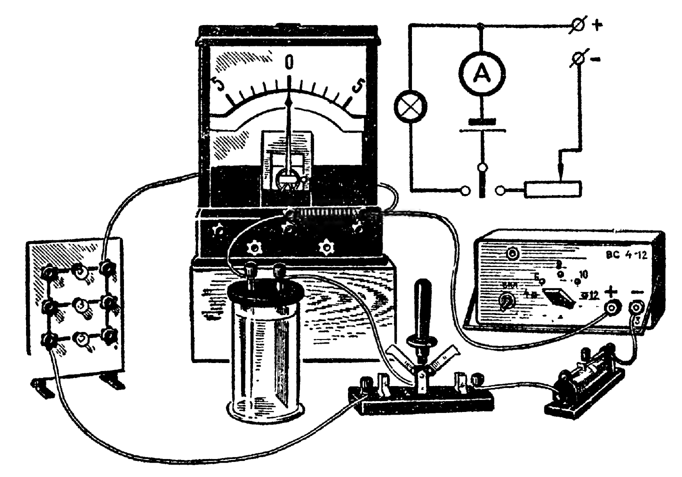


Рис. 3-51. Демонстрация принципа устройства и действия аккумулятора.

Обращают внимание учащихся на то, что данное устройство пока не может служить источником тока, так как оба электрода в нем одинаковы. Подтверждают это опытом: присоединяют к зажимам электродов лампу и убеждаются, что она не горит[1].

После этого собирают установку, изображенную на рисунке 3-51. Амперметр берут с шунтом на 3А и шкалой с нулем посередине. На панели оставляют две лампочки.

Включают цепь на зарядку и обращают внимание, в какую сторону отклоняется стрелка амперметра при зарядке. Величину зарядного тока регулируют при помощи реостата (устанавливают ее наибольшей). Через 1—2 мин ток выключают и, вынув электроды, обращают внимание учащихся на изменение их окраски: электрод, который был присоединен к плюсу источника, теперь имеет шоколадный оттенок, а второй электрод, присоединенный к минусу, — светло-серый.

Снова погружают электроды в раствор кислоты и замыкают цепь разрядки. Наблюдают свечение лампочек и отклонение стрелки амперметра в обратную сторону. Так как ток разрядки продолжается короткое время, то весь опыт повторяют еще раз.

После полной разрядки модели аккумулятора (для этого ее замыкают на некоторое время накоротко) пластины почти восстанавливают свой прежний цвет.

---

[1] Разумеется, в этом случае пользоваться гальванометром нельзя, так как электроды обычно не вполне однородны и чувствительный гальванометр обнаружит наличие тока.

Описанные опыты полезно сопровождать показом действующих гальванических элементов и аккумуляторов и в разобранном виде. Надо напомнить учащимся правила ухода за источниками тока и обращения с ними.

139. КИНОФИЛЬМ «ЭЛЕКТРОЛИЗ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕХНИКЕ»

Оборудование: 1) кинофильм «Электролиз и его применение в технике»[1], 2) кинопроектор.

Для показа технических применений электролиза демонстрируют указанный выше учебный кинофильм из трех фрагментов: «Рафинирование меди», «Гальваностегия», «Гальванопластика».

Начинается кинофильм с показа процесса рафинирования меди. Объясняется причина появления ионов водорода и хлора в растворе хлористого водорода. Наличие электрического поля вызывает появление электрического тока. Показано выделение вещества на электродах. Рассматривается процесс анодного растворения, когда на катоде выделяются только атомы меди, а примеси остаются в растворе и в осадке.

Второй и третий фрагменты знакомят с различными практическими применениями (никелирование, хромирование, электрополировка деталей и др.), в краткой форме рассказано об открытии гальванопластики и о ее практическом использовании. Здесь же показано снятие металлических копий с рельефных предметов и изготовление матриц для штамповки грампластинок.

Демонстрация данного фильма имеет важное политехническое значение, расширяя кругозор учащихся в области практического использования полученных знаний по физике.

§ 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ

ОПЫТ 140. ИОНИЗАЦИЯ ГАЗОВ

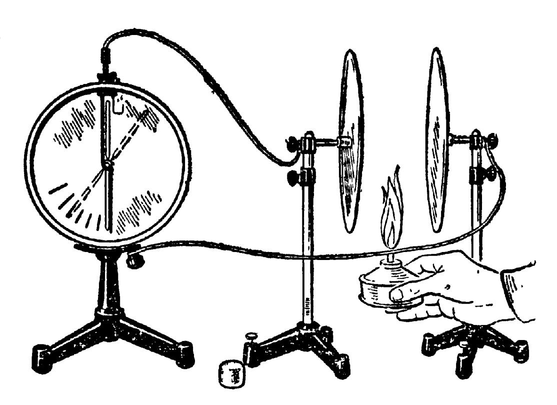
Оборудование: 1) разборный конденсатор на изолирующих штативах, 2) электрометр, 3) преобразователь высоковольтный или электрофорная машина, 4) эбонитовая и стеклянная палочки с куском меха, 5) воздуходувка с универсальным электродвигателем, 6) соединительные провода, 7) спиртовка, 8) два острия из комплекта демонстрационных электрометров.

Сначала показывают учащимся, что газы в естественном состоянии не проводят электричества. Для этого пластины раздвижного конденсатора соединяют с электрометром и заряжают его. Наблюдают, что заряд электрометра длительное время сохраняется неизменным.

---

[1] Электролиз и его применение в технике. 2 ч. Ленинградская студия научно-популярных фильмов. 1963. Продолжительность демонстрации — 18 мин.

Рис. 3-52. Разрядка электрометра пламенем.



После этого вносят в газовый промежуток между пластинами конденсатора пламя спички или спиртовки (рис. 3-52) — электрометр быстро разряжается. В продуктах сгорания образуется большое количество ионов, которые вызывают электропроводность воздуха.

В качестве другого ионизатора можно воспользоваться электрическим разрядом с острия при высоком напряжении. Для этого собирают установку по рисунку 3-53. На кондукторах высоковольтного преобразователя или электрофорной машины укрепляют два острия, которые располагают на расстоянии 30—40 мм одно от другого. Высоту расположения приборов подбирают так, чтобы струя воздуха, направляемая на острия из воздуходувки, попадала в воздушный промежуток между пластинами конденсатора, отстоящего от преобразователя на расстоянии 20—30 см.

Зарядив электрометр, например, от эбонитовой палочки отрицательно, включают воздуходувку и получают не слишком сильную струю. Обращают внимание, что электрометр при этом сохраняет заряд. Затем подают постепенно напряжение на высоковольт-

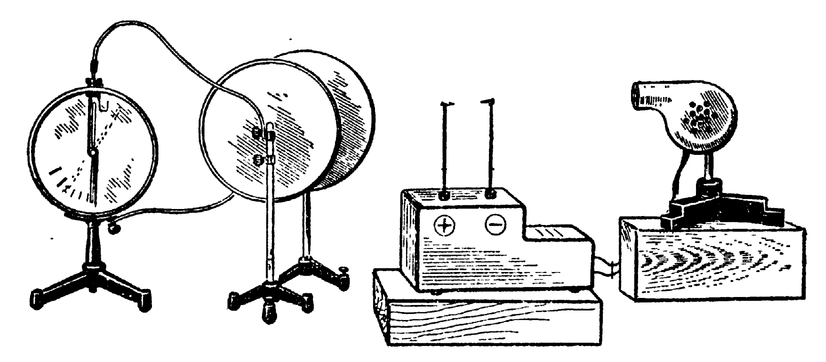


Рис. 3-53. Установка для демонстрации ионизации воздуха электрическим разрядом с острия.

ный преобразователь (или приводят в медленное вращение диски электрофорной машины) и наблюдают, как электрометр начинает разряжаться. Если выключить преобразователь, то разряжение электрометра прекращается; вновь включить — разряжение продолжится.

Повторяют опыт, зарядив электрометр положительно от стеклянной палочки.

Объясняют учащимся, что вблизи острия под действием высокого напряжения образуется большое число ионов, которые, увлекаясь воздушным потоком, попадают между пластинами конденсатора. Электропроводность воздуха увеличивается, и электрометр разряжается.

Процесс ионизации всегда сопровождается обратным процессом— рекомбинацией ионов. На этой же установке удобно продемонстрировать, что ионы имеют определенное время существования. Уменьшая скорость воздушного потока (или увеличивая расстояние между ионизатором и пластинами конденсатора), наблюдают, что разрядка электрометра замедляется или прекращается совсем, Это показывает, что количество ионов в газе постепенно уменьшается и в конце концов они рекомбинируют полностью.

Далее полезно продемонстрировать изменение характера электропроводности воздуха в зависимости от преобладания положительных или отрицательных ионов. С этой целью оставляют на высоковольтном преобразователе одно острие, например на отрицательном кондукторе, и, зарядив электрометр тоже отрицательно, направляют струю воздуха между пластинами конденсатора. Электрометр не разряжается.

Заряжают электрометр положительно и наблюдают быстрое падение стрелки вследствие нейтрализации положительного заряда отрицательными ионами, которые доставляются воздушным потоком от острия.

Опыт повторяют с потоком положительных ионов, переставив острие на другой кондуктор, соединенный с положительным полюсом.

ОПЫТ 141. НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ РАЗРЯД

Оборудование: 1) конденсатор разборный на изолирующих штативах, 2) преобразователь высоковольтный, 3) лампа неоновая ТН-20 на подставке с зажимами, 4) кольцо и муфта от штатива, 5) спиртовка или газовая горелка, 6) дуговая лампа или осветитель для теневой проекции.

Если в ионизированном газе создать электрическое поле, то наряду с беспорядочным тепловым движением возникает направленное, упорядоченное движение ионов, т. е. электрический ток. При этом положительные ионы движутся в направлении поля, а отрицательные — в противоположную сторону.

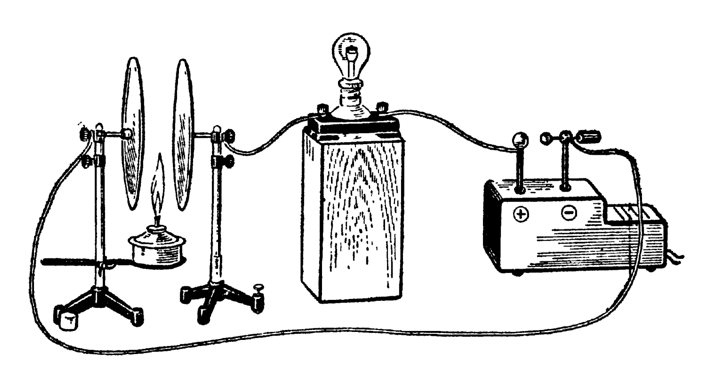


Рис. 3-54. Обнаружение несамостоятельной проводимости воздуха.

Для обнаружения электрического тока в ионизированном воздухе собирают установку по рисунку 3-54. Пластины разборного конденсатора устанавливают на расстоянии приблизительно 10 см друг от друга и к ним через неоновую лампу на подставке подключают высоковольтный преобразователь.

В начале опыта постепенно подают такое напряжение на пластины конденсатора, чтобы образовалось очень слабое свечение неоновой лампы, заметное лишь учителю. Обращают внимание учащихся, что ток в цепи лампой не обнаруживается.

Затем осторожно подносят снизу между пластинами конденсатора зажженную спиртовку и наблюдают, как неоновая лампа начинает светиться.

Увеличивают пламя спиртовки (это удобнее сделать с газовой горелкой) и обнаруживают более яркое свечение лампы. Особенно хорошо заметно свечение, если опыт проводить в полузатемненном классе.

После этого выключают из цепи неоновую лампу, а пластины конденсатора соединяют непосредственно с высоковольтным преобразователем. На одном из изолирующих штативов укрепляют с помощью муфты малое кольцо от штатива[1]. Кольцо закрепляют на такой высоте, чтобы верхняя часть пламени спиртовки заходила в воздушный промежуток конденсатора.

Затем устанавливают электрическую дуговую лампу или осветитель для теневой проекции и получают на экране отчетливое изображе-

а б

Рис. 3-55. Расщепление пламени спиртовки в электрическом поле.

[1] Чтобы не испортить стойку штатива, ее обертывают бумагой в 3—4 слоя.

ние пламени спиртовки и восходящих потоков горячих газов (рис. 3-55, *а*).

После этого подают постепенно напряжение на пластины и наблюдают, как пламя и горячие потоки газов расщепляются в направлении к электродам (рис. 3-55, *б*), обнаруживая наличие носителей положительных и отрицательных зарядов.

ОПЫТ 142. КОРОННЫЙ РАЗРЯД И ЭЛЕКТРОФИЛЬТР

Оборудование: 1) преобразователь высоковольтный, 2) выпрямитель ВС-24 М, 3) гальванометр демонстрационный от амперметра, 4) штативы изолирующие (пара), 5) скамья изолирующая, 6) штатив универсальный, 7) трубка стеклянная или металлическая длиной 30—40 см, диаметром около 6 см, 8) дымарь с резиновой грушей, 9) спиртовка, 10) проволока медная без изоляции диаметром 0,1—0,2 мм, 11) проводник на изолирующей ручке.

1. Между изолирующими штативами, установленными на расстоянии приблизительно 40 см друг от друга, натягивают две тонкие медные проволоки, не соединенные между собой (модель линии высоковольтной передачи). Одну из проволок соединяют через гальванометр с одним полюсом высоковольтного преобразователя, а другую — с другим. Гальванометр устанавливают на изолирующую подставку (рис. 3-56). Высоковольтный преобразователь подключают к выпрямителю ВС-24М.

Постепенно увеличивая напряжение, наблюдают, что с некоторого момента гальванометр начинает показывать наличие тока утечки, и, чем больше напряжение, тем больше ток. Затем затемняют класс и наблюдают свечение вокруг проводов (коронирование). При этом обращают внимание на различный характер свечения у положительного и отрицательного проводов.

Объясняют, что вблизи тонких проволок создается слишком большая неоднородность электрического поля и разряд возникает вследствие ионизации. По мере же удаления от проволоки напряженность поля уменьшается и разряд не возникает.

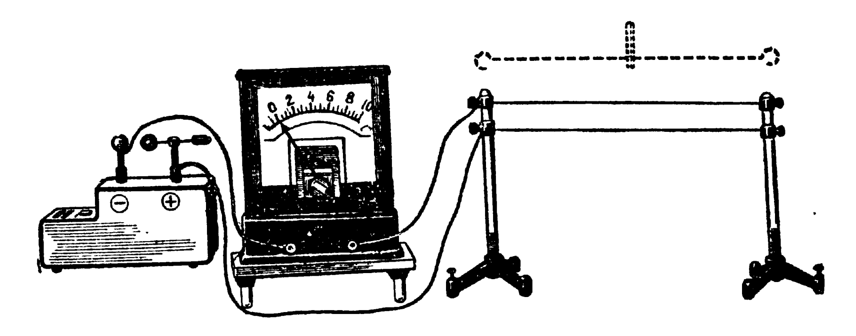


Рис. 3-56. Наблюдение коронного разряда.

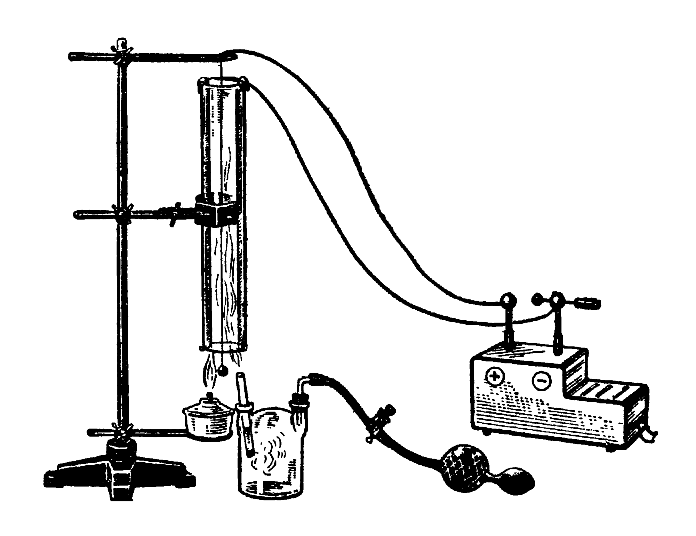


Рис. 3-57. Устройство и принцип действия электрофильтра.

Далее показывают, что коронный разряд уменьшается с увеличением толщины проволоки. Для этого параллельно одной из проволок присоединяют разрядник на изолирующей ручке; ток утечки уменьшается. Опыт может служить введением к объяснению роли расщепления фазы, применяемого в технике высоковольтной передачи электроэнергии.

2. Для демонстрации электрофильтра собирают установку по рисунку 3-57. Внутри стеклянной трубки по всей длине приклеивают 2—3 полоски станиоля. Эти полоски служат одним электродом. В качестве второго электрода подвешивают по оси трубки тонкую проволоку с шариком на конце.

Нижний край трубы должен быть приподнят над выходным патрубком дымаря, чтобы снизу было видно, как дым поступает в трубу. При помощи резиновой груши равномерно подают дым и наблюдают, как он выходит из верхнего конца трубы. Чтобы увеличить тягу, полезно под трубой поместить зажженную спиртовку.

Затем включают высокое напряжение. Выход дыма из трубы моментально прекращается, хотя снизу внутрь трубы он продолжает поступать. Выключают ток, и выход дыма восстанавливается.

Объясняют действие электрофильтра. При включении высокого напряжения внутри трубы возникает коронный разряд и воздух сильно ионизируется. Газовые ионы, сталкиваясь с частицами дыма, заряжают их. Под действием сильного электрического поля заряженные частицы дыма движутся внутри трубы к электродам, где и оседают.

ОПЫТ 143. ИСКРОВОЙ РАЗРЯД И ЭЛЕКТРОИСКРОВАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Оборудование: 1) электрофорная машина или высоковольтный преобразователь, 2) электродвигатель универсальный с картонным кругом с 32 белыми и черными секторами, 3) прибор для демонстрации электроискровой обработки металла, 4) проекционный аппарат, 5) батарея конденсаторов демонстрационная, 6) реостат на 200 Ом, 7) провода соединительные.

1. Искровой разряд учащиеся наблюдали неоднократно. Однако, приступая к его изучению, следует воспроизвести это явление с электрофорной машиной или высоковольтным преобразователем. Чтобы увеличить интенсивность искры и производимые ею эффекты, полезно увеличить емкость в искровом промежутке, подключив между электродами высоковольтного преобразователя конденсатор, например, 390 пФ, 15 кВ.

С искрой можно показать общеизвестные опыты: пробивание отверстий в бумаге, воспламенение ваты, смоченной эфиром, воспламенение горючей смеси (опыт 70).

Чтобы показать очень малую продолжительность искрового разряда (0,00001—0,000001 с), демонстрируют следующий опыт. Приводят с помощью электродвигателя в быстрое вращение картонный круг, разделенный на 32 равных черно-белых сектора. При обычном освещении вращающийся диск кажется серым. Затем в затемненном классе наблюдают вращающийся круг при освещении искрами от электрофорной машины. За непродолжительное время искрового разряда каждый сектор не успевает повернуться на заметный для глаза угол, и круг кажется неподвижным, с резкими границами секторов.

2. Демонстрацию электроискровой обработки металла проводят на простом приборе, проецируя его на экран (рис. 3-58).

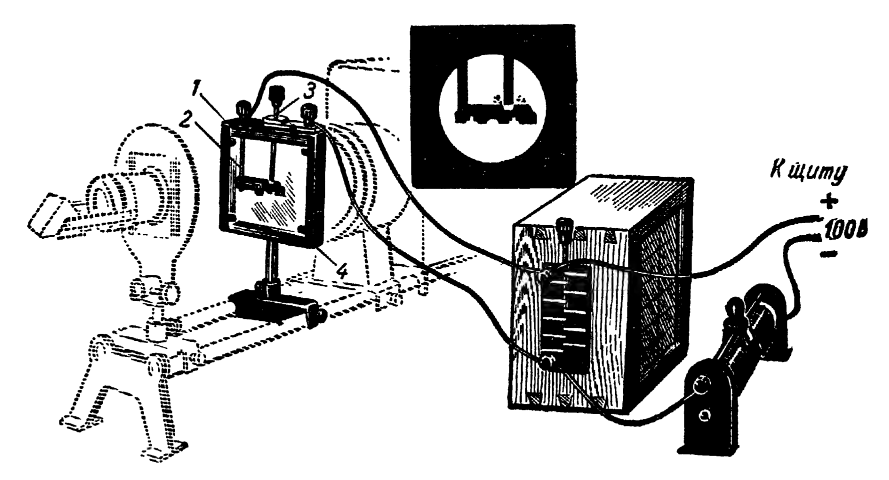


Рис. 3-58. Демонстрация электроискровой обработки металлов.

Прибор представляет собой колодку из пластмассы *1* с двумя латунными электродами *2—3*, которая вставляется в кювету *4*. Электрод *2* служит анодом; он сверху имеет зажим, а внизу — обрабатываемое изделие — лезвие безопасной бритвы. Электрод *3* (катод) расположен посередине; он в виде круглого стержня с резьбой и головкой на верхнем конце. Этот электрод присоединен ко второму зажиму и выполняет роль инструмента при обработке изделия.

Перед опытом лезвие безопасной бритвы, известное учащимся своей твердостью, ломают вдоль на две половины. Одну из них закрепляют винтом внизу бокового электрода. Лезвие заточенным краем вверх располагают горизонтально так, чтобы оно помещалось под вторым электродом.

В кювету наливают спирт, керосин, машинное масло или дистиллированную воду и вставляют в нее колодку прибора. При этом оба электрода должны быть погружены в жидкость. Кювету устанавливают в рейтере проекционного аппарата перед конденсором и с помощью объектива с оборотной призмой получают на экране резкое прямое изображение лезвия.

Включают напряжение. Наиболее благоприятные условия для опыта создаются при 60—100 В постоянного тока и емкости 60 мкФ. Реостат в работе прибора не играет существенной роли. Он введен в цепь для ограничения тока в моменты соприкосновения электродов.

Вращают головку катода по часовой стрелке до соединения его с верхним краем лезвия, после чего поворачивают ее в обратном направлении. При этом между электродами проскакивает искра. Посредством легких поворотов головки катода то в одну, то в другую сторону добиваются частых искровых разрядов, сопровождаемых громким треском. Катод постепенно погружается в лезвие, образуя углубление, и наконец перерезает его.

Если во время опыта погасить ненадолго лампу в проекционном аппарате, то в полной темноте на экране будут отчетливо видны голубоватые искры в месте соединения электродов и, кроме того, выбрасывание мелких частичек металла из анода; эти частички с течением времени вызывают помутнение жидкости.

При отсутствии источника постоянного тока можно воспользоваться током переменным. Следует только иметь в виду, что в этом случае будет довольно быстро разрушаться и катод.

ОПЫТ 144. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

Оборудование: 1) угли для электрической дуги диаметром 5 мм — 2 шт., 2) штативы изолирующие — 2 шт., 3) дуговая лампа на штативе, 4) объектив от проекционного аппарата на штативе, 5) реостат 20 Ом, 10 А, 6) фильтр темный на проволочном держателе, 7) провода соединительные, 8) два куска проволоки диаметром 0,3—0,5 мм, длиной по 15—20 см, 9) учебная таблица «Электросварка».

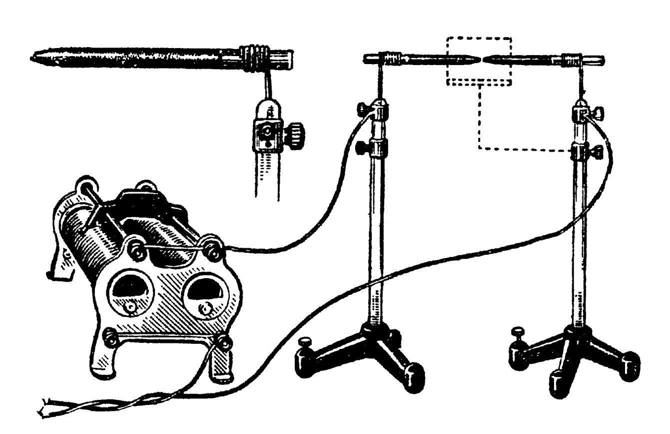


Рис. 3-59. Установка для демонстрации электрической дуги.

Простую установку для первоначального ознакомления учащихся с явлением образования электрической дуги собирают по рисунку 3-59. Угли с помощью двух самодельных держателей из медной проволоки диаметром 2 мм (держатель на рисунке показан отдельно) укрепляют на изолирующих штативах. Чтобы устранить нагревание в месте контакта держателей с углями, концы последних предварительно омедняют электролитическим способом.

Соединения с реостатом и подводку тока от распределительного щита выполняют сравнительно толстыми проводниками, так как для питания дуги требуется ток 4—6 А.

Перед тем как включить ток, ползун реостата устанавливают так, чтобы в цепь было введено сопротивление приблизительно 10 Ом, и сближают угли до соприкосновения. Затем закрывают угли фильтром, включают ток (50—60 В) и слегка раздвигают изолирующие штативы[1]. При этом между концами углей возникает электрическая дуга. Для более интенсивного горения сопротивление реостата можно постепенно уменьшить до 7—8 Ом.

Наилучший способ демонстрирования дуги — проекция ее на экран. Для этого удобно воспользоваться выпускаемой Главучтехпромом дуговой лампой, приспособленной для опытов с проекционным аппаратом. Вкратце познакомив учащихся с основными деталями прибора (два угля, регулировочное устройство для одновременного перемещения углей), устанавливают дуговую лампу и объектив от проекционного аппарата так, чтобы получить изображение дуги на экране (рис. 3-60). При этом дуговую лампу поворачивают к объективу боковым квадратным окном, через которое и проецируют дугу на экран. В этом случае угли оказываются более удобно расположенными для наблюдения за образованием

[1] Смотреть на электрическую дугу и демонстрировать ее учащимся без защитного фильтра нельзя, так как ослепительный свет дуги, богатый ультрафиолетовыми лучами, вредно действует на зрение.

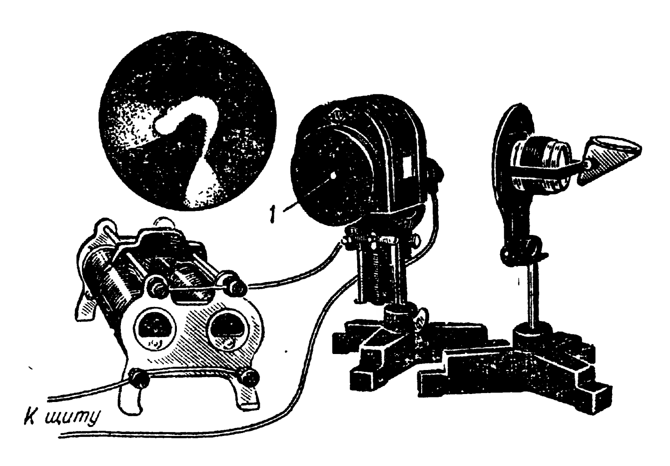


Рис. 3-60. Проецирование электрической дуги на экран.

и горением дуги, чем при прямом расположении прибора. Выходное отверстие, направленное в сторону, закрывают непрозрачной шторкой с небольшим (6—8 мм) отверстием 1 для введения в дугу свариваемых проволок.

Установив, как в первом случае, реостат на сопротивление около 10 Ом, включают ток. Затем, вращая ручку регулятора по часовой стрелке, сближают угли до соприкосновения и сейчас же медленно разводят их. Между концами углей появляется электрическая дуга. Подбирают расстояние между углями так, чтобы горение дуги было устойчивым. При этом сопротивление реостата можно немного уменьшить. Перемещая объектив, добиваются на экране отчетливого прямого изображения электрической дуги (рис. 3-60, вверху).

Обращают внимание учащихся на раскаленные концы углей, от которых и исходит преимущественно свет, а в промежутке между углями образуется собственно «дуга», т. е. яркая изогнутая полоска. Свет самой дуги слабее, чем свет, исходящий от концов углей.

Угли дуги постепенно сгорают, и их надо понемногу сближать. При этом обращают внимание учащихся, что на угле, соединенном с положительным полюсом источника постоянного тока, образуется небольшое углубление — кратер (происходит распыление вещества). При переменном токе угли сгорают равномерно и кратеры образуются одновременно у обоих углей.

Затем показывают сварку в пламени дуги двух проволок (термопары). Для этого проволоки диаметром 0,3—0,5 мм скручивают на одном конце вместе и через отверстие в загораживающей ширме вносят осторожно в пламя дуги. При этом через смотровое окно можно наблюдать за правильным расположением проволок. На экране хорошо виден оплавляющийся конец проволок и образование шарика.

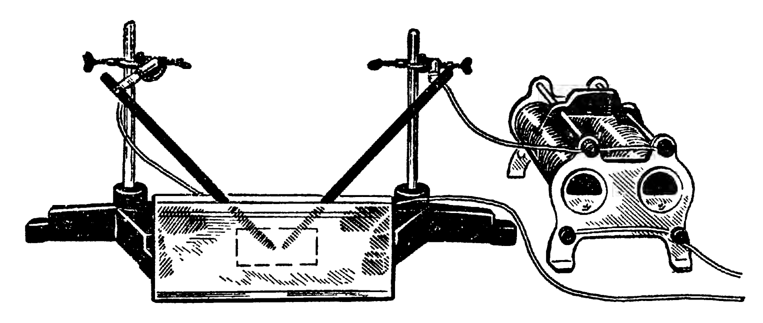


Рис. 3-61 Электрическая дуга под водой.

Перед тем как перейти к ознакомлению учащихся с техническими применениями электрической дуги, полезно продемонстрировать горение дуги под водой. С этой целью собирают установку по рисунку 3-61. Два угля закрепляют на штативах с помощью держателей для пробирок и опускают концами в прозрачную ванну с водой. Чтобы яркий свет дуги не мешал наблюдению, на передней стенке ванны укрепляют с помощью пластилина красный светофильтр (на рисунке обозначен пунктиром).

Сближая и удаляя один из углей и регулируя величину тока реостатом, добиваются равномерного горения дуги.

Техническое применение электрической дуги для сварки металлов объясняют, пользуясь учебной таблицей «Электросварка»[1].

ОПЫТ 145. САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ РАЗРЯД В ГАЗАХ ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ

Оборудование: 1) двухэлектродная трубка для демонстрации электрического разряда, 2) вакуум-насос ротационный или Комовского, 3) преобразователь высоковольтный, 4) гальванометр демонстрационный от амперметра, 5) резиновый шланг толстостенный, 6) резистор ограничительный порядка 2—3 МОм, 7) провода соединительные.

Двухэлектродную трубку с присоединенным резиновым шлангом от вакуум-насоса укрепляют в лапке штатива. Последовательно с трубкой включают в цепь через ограничительный резистор 2—3 МОм гальванометр, установленный на изолирующей подставке. Источником тока служит высоковольтный преобразователь (рис. 3-62).

Сначала показывают, что воздух при нормальном давлении не проводит электрического тока. Для этого включают высоковольтный преобразователь и постепенно увеличивают напряжение на электродах до максимального, которое дает преобразователь. Гальванометр не обнаруживает тока.

Затем уменьшают напряжение приблизительно наполовину и включают насос. При этом внимательно наблюдают за показаниями

---

[1] См.: Ушаков М. А. Таблицы по физике. Вып. II. Электросварка. М., 1964.

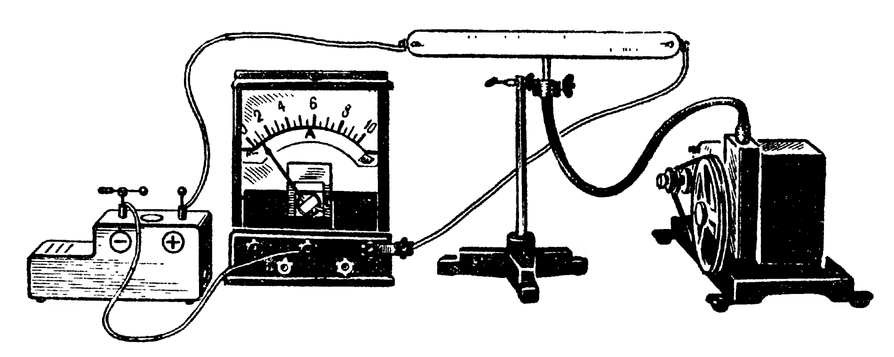


Рис. 3-62. Электропроводность воздуха при разряжении.

гальванометра. Начиная с некоторого момента гальванометр показывает наличие тока в цепи, а далее в затемненном классе становится заметным и возникающее свечение в трубке. Сначала разряд имеет форму тонких фиолетовых перебегающих светящихся нитей, затем — шнура малинового цвета, соединяющего оба электрода. При дальнейшем понижении давления светящийся шнур бледнеет, расширяется, занимая почти всю трубку. Постепенно впуская воздух в трубку, полезно повторить этот процесс в обратном порядке.

При работе с хорошим ротационным вакуум-насосом можно проследить и дальнейшие стадии разряда, т. е. хорошо заметное темное катодное пространство и положительный анодный столб, а потом и образование отдельных слоев — страт. Если же применять насос Комовского, то в ряде случаев удается достичь лишь такого разрежения, когда появляется свечение, занимающее почти всю трубку, — тлеющий разряд.

Объясняют учащимся наблюдаемое явление. Разряд в трубке возникает вследствие того, что в разреженном воздухе увеличивается длина свободного пробега электронов. Разгоняясь, электроны приобретают энергию, достаточную для ионизации нейтральных молекул. Источником электронов является катод, который бомбардируется положительными ионами. Эти ионы и выбивают из катода электроны (вторичная электронная эмиссия).

ОПЫТ 146. СВЕЧЕНИЕ РАЗРЯЖЕННЫХ ГАЗОВ

Оборудование: 1) «шкала пустот», 2) преобразователь высоковольтный, 3) выпрямитель универсальный, 4) неоновая лампа ТН-30 на подставке, 5) вольтметр демонстрационный с дополнительным сопротивлением 22 кОм, 6) набор газосветных трубок, 7) провода соединительные.

Явления, связанные с прохождением электрического тока в газах, вначале демонстрируют при помощи прибора, получившего название «Шкала пустот» (рис. 3-63). Прибор состоит из 6 трубок с разреженным воздухом. Каждая трубка имеет по 2 электрода в виде стерженька и диска. Снаружи электроды оканчиваются метал-

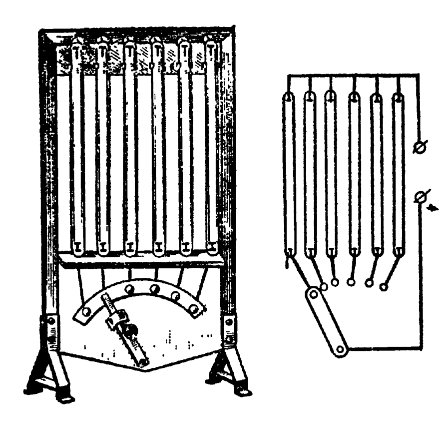


Рис. 3-63. Трубки с различной степенью разряжения на стойке и схема их включения.

лическими колпачками, приклеенными к концам трубок. Все трубки занумерованы и укреплены на раме-стойке при помощи нижних гнезд и пружинящих контактов вверху. Давление воздуха в трубках следующее (по порядку номеров): 30; 10,4; 0,5; 0,2—0,1; 0,03—0,02 мм рт. ст.

В нижней части стойки смонтирован переключатель, состоящий из рычага с изолирующей ручкой и шести контактов, соединенных поочередно с нижними гнездами для трубок. Сзади стенки выведены два зажима для подключения источника высокого напряжения. Один из зажимов соединен с рычагом переключателя, а другой — с верхними контактами всех трубок. Таким образом, переключатель дает возможность включать в цепь источника тока любую из трубок.

Подключив к зажимам высоковольтный преобразователь, демонстрируют последовательно разряды во всех трубках, начиная с первой:

1 — разряд имеет вид тонкого перебегающего светящегося шнура;

2 — разряд бледнеет и занимает почти всю ширину трубки, намечается темное катодное пространство;

3 — явно видно темное катодное пространство и положительный анодный столб;

4 — наблюдаются страты, т. е. положительный анодный столб разбивается на отдельные слои;

5 — катодное темное пространство занимает большую часть трубки, страты становятся более широкими и расплывчатыми. Цвет свечения становится более бледным и наблюдается зеленоватое свечение стекла;

6 — положительное свечение исчезает совсем, стенки трубки, лежащие против катода, светятся зеленым светом, а возле катода появляется слабое голубоватое свечение.

Обращают внимание учащихся, что зависимость формы разряда от давления в трубке может быть использована для приблизительного определения степени разрежения при откачивании воздуха вакуум-насосом.

После этого демонстрируют свечение газоразрядных трубок, наполненных различными разреженными газами[1]. Подключение трубок к кондукторам высоковольтного преобразователя осуще-

[1] Такие трубки выпускает промышленность под названием спектральных.

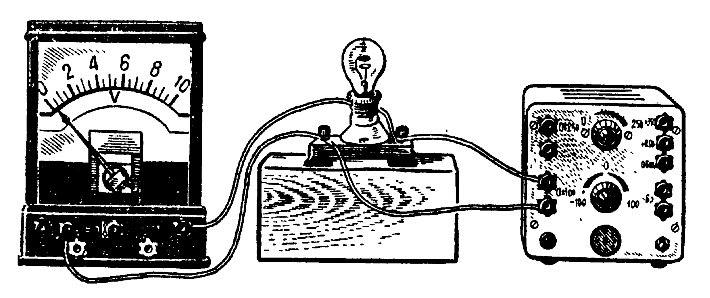


Рис. 3-64. Измерение порога зажигания и гашения неоновой лампы.

ствляют мягкими гибкими проводниками так, чтобы они не касались металлических предметов и не мешали во время демонстрации, так как опыты проводятся в затемненном помещении.

Особое место среди вакуумных приборов занимают неоновые лампы, представляющие собой разрядную трубку с холодным катодом, где используется тлеющий разряд. Эти лампы находят разнообразное применение в школьной практике. Поэтому при изучении тока в газах необходимо продемонстрировать свечение неоновой лампы на постоянном и переменном токе, показать различную величину напряжения для зажигания и гашения лампы, а также показать зажигание лампы под действием внешнего ионизатора. Для опытов могут быть применены любые неоновые лампы, но лучше взять лампы типа ТН-30 (сигнальная лампа на 127 В)[1].

Собирают установку с неоновой лампой (рис. 3-64) и сначала без вольтметра демонстрируют свечение этой лампы от постоянного тока (свечение только у анода), а затем от переменного тока (свечение у обоих электродов).

Подключив вольтметр, демонстрируют разную величину напряжения для зажигания неоновой лампы и ее гашения. С этой целью постепенно увеличивают напряжение, подаваемое к лампе от универсального выпрямителя, и замечают возможно тщательнее напряжение, при котором лампа загорается. Затем постепенно уменьшают напряжение и опять отмечают его величину при гашении лампы. Обращают внимание, что гашение происходит при напряжении, меньшем на 8—10 В.

После этого можно продемонстрировать зажигания неоновой лампы под действием внешнего ионизатора (яркое освещение, рентгеновские лучи, ионизация искрой). Для этого устанавливают напряжение большее, чем напряжение гашения лампы, но меньшее, чем напряжение, при котором лампа загорается. Затем освещают

[1] У этой лампы ограничительное (балластное) сопротивление вмонтировано внутри цоколя. Если применяется тип лампы без ограничительного сопротивления, то в цепь последовательно с такой лампой надо включить дополнительное сопротивление 1—5 кОм, чтобы сила тока не превосходила величину, указанную для данной лампы.

электроды лампы ярким источником света, например от проекционного аппарата, и наблюдают зажигание — возникновение несамостоятельного разряда.

В заключение полезно показать обобщающий кинофильм «Электрический ток в газе»[1].

В кинофильме несколько небольших фрагментов: несамостоятельная проводимость газа, самостоятельная проводимость, тлеющий разряд, коронный разряд.

Зависимость величины тока в газе от напряжения при несамостоятельной проводимости иллюстрируется графиком. Самостоятельная проводимость газов демонстрируется на опыте с искровым разрядом, связанным с образованием лавины электронов.

Возникновение тлеющего разряда показано в газоразрядной трубке. Выделены области: темное катодное пространство, тлеющее отрицательное свечение, фарадеево темное пространство, положительный столб. Объясняются причины свечения газа.

Коронный разряд показан в линии высоковольтного напряжения, в сильном неоднородном электрическом поле вблизи поверхности тонкого проводника.

Показан способ борьбы с потерями на коронный разряд и полезное применение коронного разряда в электрофильтрах для очистки газов.

§ 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ВАКУУМЕ

ОПЫТ 147. ЯВЛЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ

Оборудование: 1) электронная лампа-диод демонстрационная, 2) батарея аккумуляторов, 3) реостат на 10 Ом, 2 А, 4) электрометр, 5) проводник на изолирующей ручке, 6) проекционный аппарат, 7) палочки эбонитовая и из органического стекла с куском меха, 8) выключатель демонстрационный, 9) провода соединительные.

Для наблюдения термоэлектронной эмиссии, а также для объяснения принципа устройства и действия двухэлектродной электронной лампы применяют демонстрационный вакуумный диод (рис. 3-65).

В стеклянном баллоне *1* цилиндрической формы диаметром 45 мм и высотой 90 мм находятся два электрода — катод *2* и анод *3*. В баллоне создан высокий вакуум порядка 10^{-6} мм рт. ст.

Катод *2* (прямого накала, как наиболее наглядный) представляет собой тонкую вольфрамовую проволоку (нить накала) в виде слегка растянутой спирали. Нить накала приварена к двум стойкам-опорам *4*, которые имеют выводы наружу. Эти выводы присоединены к двум винтовым зажимам *5*, расположенным на изоли-

[1] Электрический ток в газе. 1 ч. Московская студия научно-популярных фильмов. 1965. Продолжительность демонстрации — 10 мин.

рующем цоколе *6*. Зажимы служат для подключения катода к источнику электропитания (батарее аккумуляторов или выводам трансформатора), дающему ток до 1,5—2 А при напряжении 6,3 В. Оба зажима расположены на цоколе в плоскости нити накала и выводных проводов. Это позволяет более наглядно проследить подводку тока к катоду.

Анод *3* выполнен в виде плоского диска диаметром 30 мм из никеля или какого-нибудь тугоплавкого материала (молибден, тантал). Анод расположен над катодом на расстоянии примерно 10 мм, и это позволяет отчетливо показать наличие двух электродов, разделенных вакуумным промежутком. Вывод от анода заканчивается винтовым зажимом *7* для включения прибора в электрическую цепь.

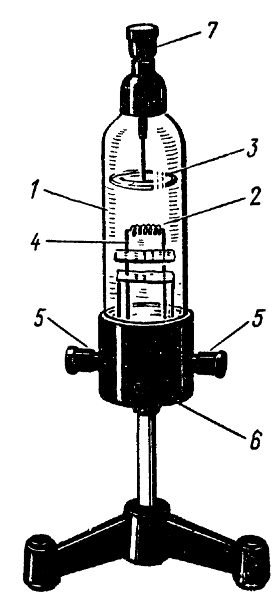
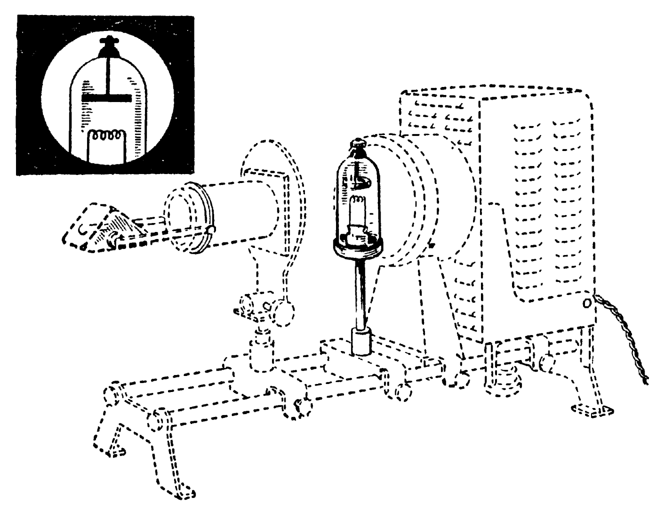


Рис. 3-65. Демонстрационный диод на подставке.

Для удобства проведения опытов и хранения демонстрационный диод снабжается небольшим опорным стержнем диаметром 10 мм и длиной 50 мм. Стержень вставляют в небольшую треногу.

Для большей наглядности демонстрацию устройства двухэлектродной лампы можно сопровождать проецированием диода на экран. Прибор на стержне устанавливают в рейтере проекционного аппарата перед конденсором и при помощи объектива и оборотной


Рис. 3-66. Проецирование диода на экран.

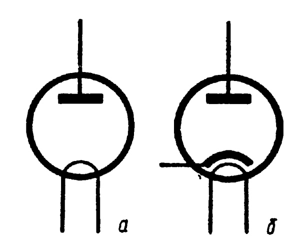


Рис. 3-67. Условные изображения электронного диода:

а — прямого накала, *б* — с подогревным катодом

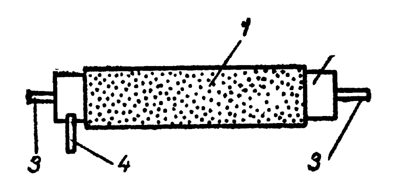


Рис. 3-68. Подогревный катод (цилиндрический):

1 — оксидный слой; *2* — никелевая трубка; *3* — подогреватель (нить накала); *4* — вывод катода.

призмы получают на экране отчетливое прямое изображение (рис. 3-66). Это изображение, кроме ознакомления учащихся с устройством диода, позволяет легко перейти к введению условного изображения диода на схемах, которые тут же вычерчивают на классной доске (рис. 3-67, *а*).

В электронных лампах наряду с катодом прямого накала широкое применен е находит и катод косвенного накала, или подогревный (рис. 3-68). С устройством такого катода также полезно ознакомить учащихся. В отличие от катода прямого накала здесь источником свободных электронов является подогретый оксидный слой *1*, нанесенный на внешнюю поверхность никелевого цилиндра *2*. Для обогревания катода внутри цилиндра помещается металлическая нить, накаливаемая током, как у диода прямого накала. Условное изображение диода с подогревным катодом (рис. 3-67, *б*) также вычерчивают на классной доске.

Начиная опыт, прежде всего показывают накаливание катода током. Для этого собирают электрическую цепь из диода, установленного на стойке, источника электропитания — батареи аккумуляторов, реостата на 10—15 Ом и ключа (рис. 3-69). Замыкают цепь и, пользуясь реостатом, доводят катод до ярко-красного свечения.

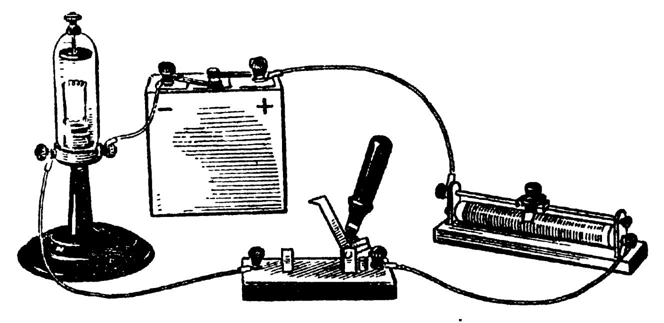


Рис. 3-69. Установка для демонстрации накаливания катода.

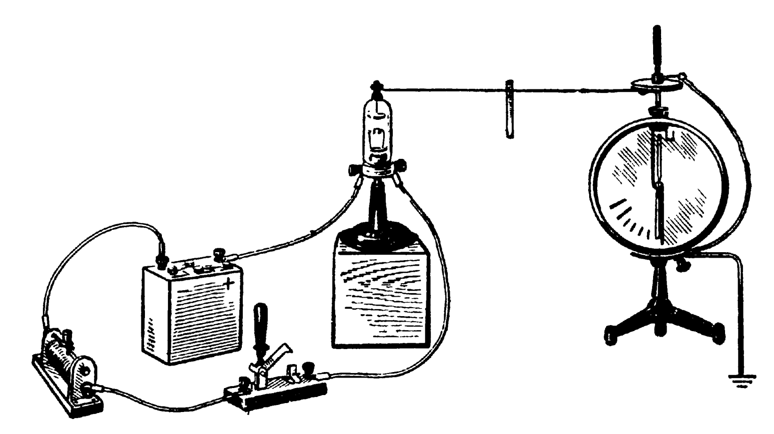


Рис. 3-70. Установка для обнаружения термоэлектронной эмиссии.

Объясняют учащимся, что с раскаленного катода, как и со всякого накаленного тела, в окружающее пространство вылетают электроны, несущие отрицательный заряд. Электроны имеют различную скорость; некоторые из них достигают анода и заряжают его отрицательно. Это можно обнаружить на демонстрационном электрометре с конденсатором в виде двух дисков. Один из дисков конденсатора устанавливают на стержень электрометра, а другой, имеющий эбонитовую ручку, кладут сверху, как показано на рисунке 3-70. Корпус электрометра и верхний диск заземляют.

Проводником на изолирующей ручке на короткое время соединяют анод диода с нижним диском конденсатора и тем самым сообщают ему некоторый заряд. Затем удаляют верхний диск. Так как при удалении этого диска емкость прибора во много раз уменьшается, то потенциал возрастает и стрелка электрометра заметно отклоняется.

После этого исследуют знак заряда электрометра. Для этого к электрометру на некотором расстоянии подносят отрицательно заряженную (эбонитовую) палочку и наблюдают увеличение отклонения стрелки: электрометр получил отрицательный заряд. Полезно повторить опыт, увеличив накал катода. В этом случае увеличиваются показания электрометра, так как он получает больший заряд.

Далее можно показать, что катод лампы, теряя электроны вследствие эмиссии, заряжается положительно. Для этого анод лампы заземляют; батарею аккумуляторов, реостат и рубильник располагают на изолирующей скамье, а нижний диск конденсатора на некоторое время соединяют проводником с накаленным катодом. В этом случае после удаления верхнего диска электрометр оказывается заряженным положительно.

Явление термоэлектронной эмиссии можно продемонстрировать и на другом опыте. Зарядив электрометр положительно,

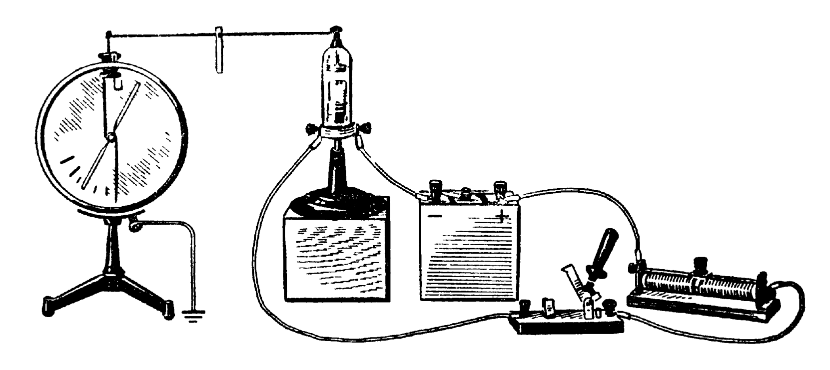


Рис. 3-71. Другая установка для обнаружения термоэлектронной эмиссии

например от наэлектризованной стеклянной палочки, соединяют его проводником на изолирующей ручке с анодом диода, как показано на рисунке 3-71 (цепь накала пока не замкнута). Обращают внимание учащихся, что при холодном катоде электрометр не разряжается. Затем включают ток в цепь катода (накал ярко-красный) и наблюдают, что стрелка электрометра быстро опадает, так как электроны, испускаемые накаленным катодом, притягиваются положительно заряженным анодом и нейтрализуют его заряд.

Если же зарядить электрометр отрицательно и соединить его с анодом, то электрометр не разряжается и при накаленном катоде. Вылетающие из катода электроны теперь не притягиваются анодом, а, наоборот, отталкиваются от него и возвращаются обратно к катоду. Можно отрицательно заряженный электрометр соединить с катодом лампы, заземлить анод, изолировав предварительно всю цепь (как было описано выше). Теперь электрометр будет разряжаться, так как накаленный катод вследствие эмиссии теряет электроны и его потенциал вместе с потенциалом электрометра изменяется.

ОПЫТ 148. ОДНОСТОРОННЯЯ ПРОВОДИМОСТЬ ДИОДА

Оборудование: 1) электронная лампа-диод демонстрационная, 2) гальванометр от амперметра, 3) вольтметр демонстрационный, 4) выпрямитель универсальный, 5) реостат на 10 Ом, 2 А, 6) выключатель демонстрационный, 7) провода соединительные, 8) магнит дугообразный, 9) палочки эбонитовая и стеклянная с куском меха.

Демонстрация этого опыта проводится на установке, собранной по рисунку 3-72. Для накала катода используют переменный ток (зажимы 6,3 В). Это дает возможность подчеркнуть, что эмиссия электронов не зависит от того, каким способом накаливать катод.

Сначала, не включая цепь накала, подают напряжение в анодную цепь лампы и обращают внимание учащихся, что гальванометр не отмечает тока. Высокий вакуум является хорошим изолятором.

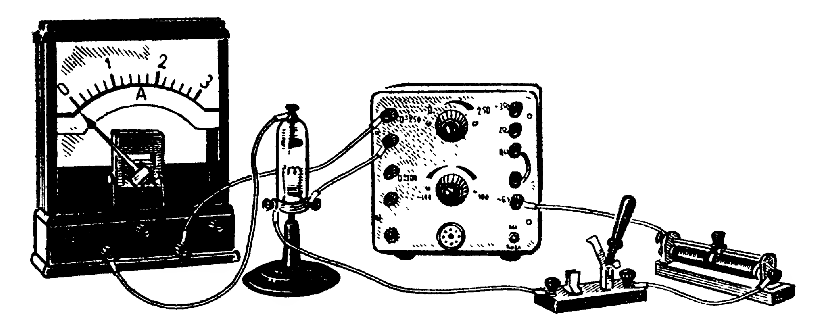


Рис. 3-72. Установка для наблюдения электропроводности вакуумного диода.

Затем замыкают цепь накала и наблюдают появление тока в анодной цепи при накаленном катоде. Постепенно увеличивают накал нити и наблюдают увеличение анодного тока вследствие увеличения термоэлектронной эмиссии.

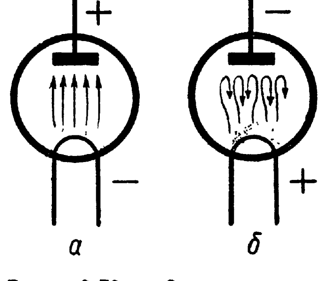


Рис. 3-73. Односторонняя проводимость диода.

После этого переключают полюсы источника тока в анодной цепи, т. е. к аноду присоединяют отрицательный полюс выпрямителя, а к катоду — положительный.

Обращают внимание учащихся, что теперь при любом накале нити катода ток в анодной цепи отсутствует. Чтобы удобнее было наблюдать за изменением полярности в анодной цепи, можно включить демонстрационный вольтметр, имеющий шкалу с нулем посередине. При объяснении односторонней проводимости диода полезно воспользоваться условными схемами, начертив их на доске (рис. 3-73).

В случае соединения анода с положительным полюсом источника тока между анодом и катодом создается электрическое поле, которое заставляет электроны перемещаться к аноду (рис. 3-73, *а*). В анодной цепи при этом появляется ток. Когда же с анодом соединен отрицательный полюс источника тока и напряженность поля имеет противоположное направление, электроны не достигают анода и ток в анодной цепи отсутствует (рис. 3-73, *б*).

Наблюдения анодного тока в двухэлектродной лампе полезно дополнить демонстрацией отклонения потока электронов в магнитном и электрическом полях. С этой целью устанавливают нормальный накал катода лампы и подают на анод такое напряжение, чтобы гальванометр показывал возможно больший ток. Затем подносят сбоку к диоду дугообразный магнит и наблюдают уменьшение тока в цепи, так как часть потока электронов отклоняется магнитным

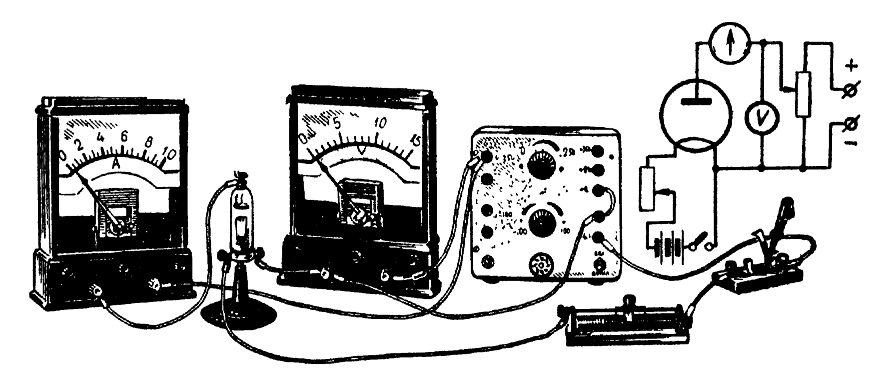


Рис. 3-74. Установка для снятия вольт-амперной характеристики диода.

полем и не попадает теперь на анод. Такое же явление наблюдается при поднесении наэлектризованных палочек, как эбонитовой, так и стеклянной.

Хотя в этих опытах нельзя наблюдать направление смещения потока электронов, все же первоначальное ознакомление с этим явлением окажется полезным для дальнейшего изучения свойств электронных пучков.

ОПЫТ 149. ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИОДА

Оборудование: 1) электронная лампа-диод демонстрационная, 2) гальванометр от амперметра, 3) вольтметр демонстрационный с дополнительным сопротивлением 33 кОм, 4) выпрямитель универсальный, 5) реостат на 10 Ом, 2 А, 6) выключатель демонстрационный, 7) провода соединительные.

В предыдущем опыте было установлено изменение анодного тока при изменении накала катода. Теперь надо продемонстрировать зависимость между током и напряжением в анодной цепи и ознакомить учащихся с методом снятия анодной характеристики.

Перед выполнением опыта вычерчивают на классной доске схему и собирают установку (рис. 3-74). У демонстрационного вольтметра устанавливают шкалу с 15 делениями, присоединяют к нему дополнительное сопротивление 33 кОм; тогда каждое деление шкалы будет соответствовать 10 В.

Замыкают цепь и при помощи реостата доводят накал диода до ярко-красного свечения. При этом ручку потенциометра ставят в такое положение, чтобы стрелка вольтметра находилась на нуле.

Затем, не меняя накала катода, увеличивают напряжение в анодной цепи до 10 В (одно деление шкалы) и по гальванометру замечают величину анодного тока. Увеличивают анодное напряжение еще на 10 В (два деления шкалы) и опять отмечают величину тока. Продолжая опыт, доводят напряжение до 80—100 В. Все ре-

зультаты измерений записывают в таблицу:

U_a, В	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
I_a, дел. шкалы	0,8	1,5	2,1	2,5	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8

По полученным данным на классной доске строят график зависимости (рис. 3-75, *а*) изменения тока в анодной цепи от напряжения.

Анализируя график, обращают внимание учащихся на то, что с увеличением напряжения анодный ток сначала возрастает быстро, потом медленнее и, наконец, величина его остается без изменения, хотя напряжение увеличивается. Это так называемое состояние насыщения, когда все электроны, испускаемые катодом при данной температуре, притягиваются анодом. Наибольший анодный ток, возникающий при этом явлении, называют током насыщения.

Если эмиссию электронов с катода увеличить, повысив его температуру, то ток насыщения возрастает. Это также надо показать учащимся на опыте. Для этого увеличивают накал катода, что заметно на глаз, и повторяют опыт. Полученные числовые данные наносят на ту же координатную сетку и строят вторую кривую, которая располагается выше первой (рис. 3-75, *б*). В этом случае ток насыщения получается при более высоком анодном напряжении.

ОПЫТ 150. ДВУХЭЛЕКТРОДНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЛАМПА КАК ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Оборудование: 1) электронная лампа-диод демонстрационная, 2) гальванометр от амперметра — шкала с нулем посередине, 3) батарея аккумуляторов, 4) реостат на 10 Ом, 2 А, 5) генератор переменного тока из школьного набора по трехфазному току, 6) трансформатор универсальный с катушками на 120 и 12 В, 7) сопротивление 3 кОм от демонстрационного вольтметра, 8) провода соединительные, 9) шнур с вилкой и наконечниками.

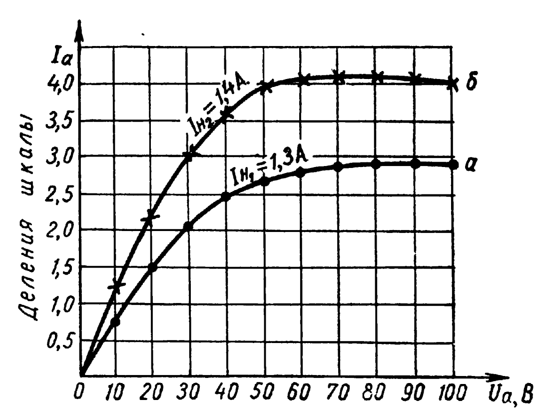


Рис. 3-75. Вольт-амперные характеристики диода.

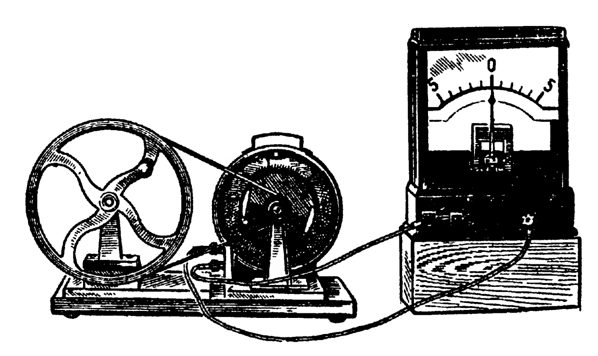


Рис. 3-76. Демонстрация переменного тока.

Напоминают учащимся об односторонней проводимости диода, показанной в опыте 148, когда анод имел положительный потенциал (наблюдался анодный ток), а потом — отрицательный (ток отсутствовал). Затем переходят к демонстрации применения этого явления — выпрямление переменного тока. Сначала показывают получение переменного тока от генератора из школьного набора. С этой целью собирают установку по рисунку 3-76. Для ограничения тока в цепи последовательно с гальванометром включают сопротивление от демонстрационного вольтметра, имеющее обозначение 15 В постоянного тока.

Медленно вращая ротор генератора, наблюдают за стрелкой гальванометра, которая при изменении направления тока в цепи отклоняется от нулевого положения то в одну, то в другую сторону.

Постепенно увеличивают скорость вращения ротора и наблюдают, что указатель гальванометра не успевает теперь следовать за изменениями направления тока в цепи и лишь слегка колеблется около нулевого положения. На это явление, встречающееся в дальнейших опытах с переменным током от сети, следует обратить особое внимание.

После этого в цепь переменного тока от генератора включают вместо сопротивления двухэлектродную лампу, предварительно установив нормальный накал нити (яркое свечение). Вращают опять ротор генератора и наблюдают, что в этом случае указатель гальванометра отклоняется лишь в одну сторону, свидетельствуя о наличии

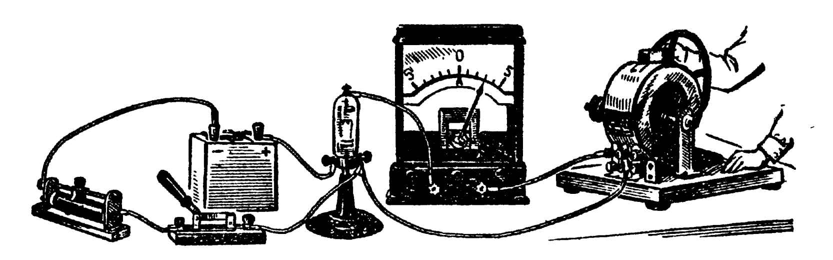


Рис. 3-77. Выпрямление переменного тока двухэлектродной лампой.

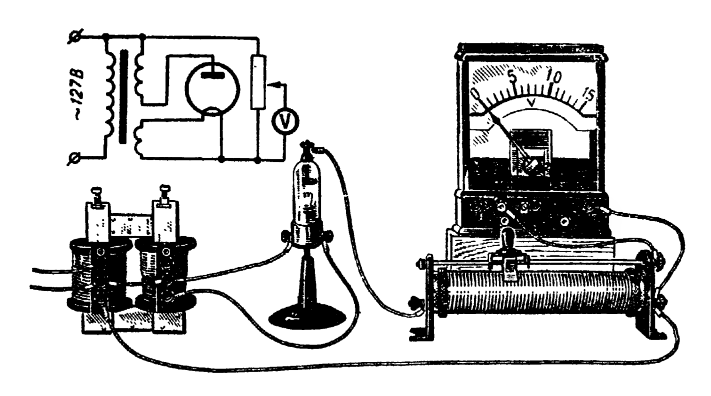


Рис. 3-78. Демонстрация однополупериодного выпрямителя.

в цепи постоянного тока (рис. 3-77). Небольшое дрожание стрелки объясняется пульсацией выпрямленного тока.

Наконец переходят к демонстрации выпрямления переменного тока промышленной частоты (50 Гц). Для этого переменное напряжение снимается с 12-вольтной обмотки универсального трансформатора и подается через гальванометр к двухэлектродной лампе. Замкнув рубильником цепь накала, наблюдают наличие в анодной цепи постоянного тока: стрелка гальванометра отклоняется в одну сторону.

После этого собирают однополупериодный выпрямитель (рис. 3-78, схема вверху)[1]. В качестве нагрузочного сопротивления включают реостат на 5000 Ом по потенциометрической схеме. Выпрямленное регулируемое напряжение измеряют демонстрационным вольтметром. Кроме того, можно при помощи неоновой лампы продемонстрировать переменный ток до выпрямления (свечение обоих электродов) и выпрямленный (свечение лишь у одного электрода — анода).

ОПЫТ 151. УСТРОЙСТВО И ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ

Оборудование: 1) электронно-лучевая трубка на подставке, 2) выпрямитель универсальный или кенотронный.

Электронно-лучевая трубка позволяет получить узкий сфокусированный пучок электронов, которым можно управлять. На этом же приборе можно продемонстрировать основные свойства электронных пучков: свечение люминофора под их воздействием, прямолинейное распространение, отклонение в электрическом и магнитном полях.

[1] На схеме соединены между собой сетевая обмотка (127 В) и обмотка в анодной цепи так, как это сделано в универсальном трансформаторе.

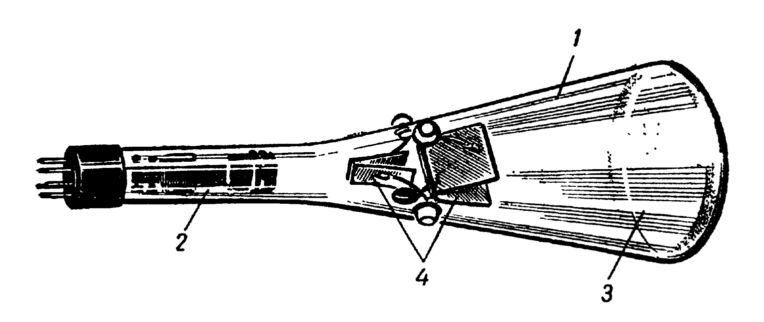


Рис. 3-79. Электронно-лучевая трубка с электростатическим управлением.

По принципу фокусировки и отклонения электронного пучка трубки бывают двух видов: с электростатическим управлением и с магнитным.

Как и всякий электровакуумный прибор, трубка (рис. 3-79) имеет стеклянный баллон *1*, вытянутый в направлении луча. Воздух из баллона выкачан до высокого вакуума (10^{-6} мм рт. ст.).

Внутри стеклянного баллона, в его узкой части, помещается электронно-оптическая система *2* (электронный прожектор), где получается и формируется узкий электронный пучок (показывают только общий вид этой части трубки). Электронный пучок направляется на флюоресцирующий экран *3* в широкой части трубки, представляющий собой тонкий слой люминофора, нанесенного на внутреннюю поверхность баллона. В качестве люминофоров применяют различные вещества, например ортосиликат цинка, дающий зеленое свечение, сульфид цинка в соединении с некоторыми другими элементами, дающий белое свечение, и др.

Электронный пучок на пути к экрану проходит между двумя парами взаимно перпендикулярных отклоняющих пластин *4*. При подаче на пластины разности потенциалов электронный пучок отклоняется в сторону положительно заряженной пластины (электростатическое отклонение).

После такого предварительного ознакомления с общим устройством электронно-лучевой трубки подробнее останавливаются на деталях электронного прожектора. При этом используют учебную таблицу[1] и кинокольцовку[2]. Выясняют, что электронный прожектор состоит из катода косвенного накала, являющегося источником электронов, управляющего электрода в виде цилиндра с отверстием, регулирующего количество электронов, вылетающих в единицу времени и создающих яркость пятна на экране; анода (иногда двойного), фокусирующего и ускоряющего поток электро-

[1] См.: Ушаков М. А. Таблицы по физике. Вып. II. М., 1964.

[2] Кинокольцовка «Устройство и работа электроннолучевой трубки». «Школфильм», 1954.

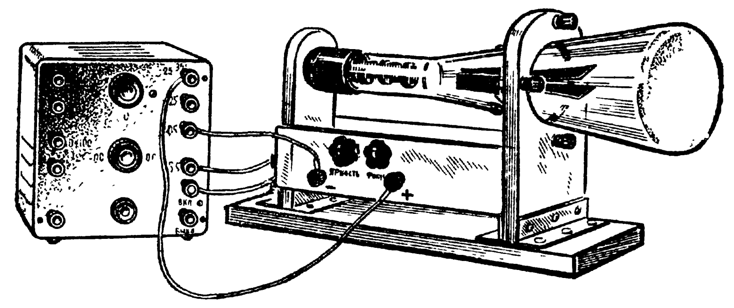


Рис. 3-80. Электронно-лучевая трубка на подставке с подключенным выпрямителем.

нов. К электродам электронного прожектора прикладывают соответствующие разности потенциалов.

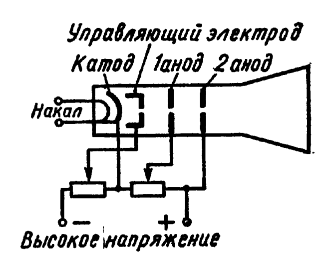


Рис. 3-81. Схема включения электронно-лучевой трубки.

После этого устанавливают электронно-лучевую трубку на подставку, где выполнен весь необходимый монтаж, связанный с подводкой соответствующих напряжений, и подключают источник питания—выпрямитель (рис. 3-80). Зажимы выпрямителя «общий» и «+350 В» соединяют с зажимами «—» и «+», расположенными на боковой панели подставки.

На классной доске вычерчивают простейшую схему (рис. 3-81) (или вывешивают приготовленную заранее учебную таблицу) и объясняют учащимся, как подают необходимые регулируемые напряжения на электроды электронного прожектора, чтобы получить электронный пучок и сфокусировать его. Обращают внимание, что управляющий электрод имеет регулируемый относительно катода отрицательный потенциал (порядка 20—50 В), а анод — тоже регулируемый, но положительный (высокий) потенциал.

Затем включают кенотронный выпрямитель в сеть и после прогрева ламп наблюдают на экране светящееся пятно.

Изменяя величину отрицательного потенциала на управляющем электроде (вращают на подставке ручку «яркость»), наблюдают изменение яркости свечения пятна на экране при сохранении его размера (подходящий для наблюдения размер пятна диаметром 8—10 мм предварительно подбирают вращением ручки «фокус»).

Потом показывают фокусировку электронного пучка, изменяя переменным резистором (ручка с надписью «фокус») положительный потенциал на аноде трубки. При этом ручку яркости устанавливают на некоторую среднюю величину, так как при большой яркости ухудшается фокусировка (при большом числе электронов). На экране наблюдают изменение размеров пятна, которое можно свести к небольшой точке.

ОПЫТ 152. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ

Оборудование: 1) электронно-лучевая трубка на подставке, 2) выпрямитель универсальный или кенотронный, 3) батарея анодная БАС-80, 4) катушка от универсального трансформатора на 120 В, 5) переключатель двухполюсный, 6) реостат на 10 000 Ом, 0,1 А, 7) две отклоняющие катушки, 8) батарея аккумуляторов, 9) реостат на 40 Ом, 2 А, 10) выключатель демонстрационный, 11) магнит дугообразный, 12) провода соединительные.

1. Объясняя основные свойства электронных пучков, пользуясь электронно-лучевой трубкой, обращают внимание учащихся на то, что внутри трубки электронный пучок сам по себе невидим. Однако его можно обнаружить, если воспользоваться одним из свойств потока быстрых электронов — вызывать люминесценцию некоторых веществ. Повторяют опыт с электронно-лучевой трубкой и наблюдают свечение экрана трубки. Изменяя яркость и фокусировку светового пятна на экране, показывают различную интенсивность свечения в зависимости от мощности и концентрации электронного пучка. При этом следует обратить внимание учащихся еще на одно важное свойство пучка электронов. В месте большой концентрации падающего на предмет пучка электронов выделяется большое количество энергии и предмет нагревается. Поэтому нельзя допускать при неподвижном луче большую яркость и резкую фокусировку: возможен прожог люминофора.

2. Для демонстрации отклонения электронного пучка в электрическом поле присоединяют сначала к горизонтально отклоняющим пластинам источник постоянного напряжения (например, анодную батарею БАС-80) через потенциометр и двухполюсный переключатель. Схема соединения батареи, потенциометра и переключателя показана на рисунке 3-82.

При включении напряжения замечают отклонение электронного пучка в сторону положительной пластины. При переключении полюсов изменяется направление отклонения.

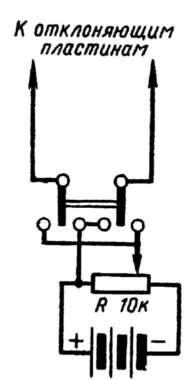


Рис. 3-82. Схема соединения потенциометра с переключателем.

Если изменять с помощью потенциометра величину прикладываемого к пластинам постоянного напряжения, то можно наблюдать изменение величины отклонения пучка, которая пропорциональна напряжению между пластинами.

Плавно изменяя потенциометром напряжение, показывают постепенное движение светящегося пятна по экрану.

То же проделывают при подаче напряжения на вертикально отклоняющие пластины.

Если теперь потенциометр и переключатель присоединить к осветительной сети (120 В), то на экране наблюдается светящаяся горизонтальная (или вертикальная) линия — результат колебательного движения электронного пучка в переменном

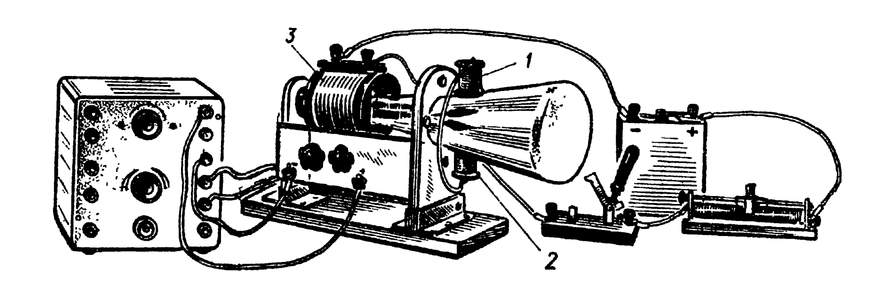


Рис. 3-83. Магнитное управление электронным пучком.

электрическом поле. Амплитуда этих колебаний будет пропорциональна амплитуде приложенного напряжения.

3. Электронно-лучевые трубки с магнитным управлением (фокусировкой и отклонением) широко применяют в телевидении для приема изображения. Такие трубки (кинескопы) несколько отличаются от трубок с электростатическим управлением по форме колбы, а главное — более простым устройством электронного прожектора. Фокусировку и отклонение осуществляют магнитными полями катушек, которые надевают снаружи трубки на ее более узкую часть— горловину.

Сначала демонстрируют отклонение электронного пучка в магнитном поле постоянного магнита. Для этого включают трубку (рис. 3-83) и получают на экране достаточно яркое светящееся пятно. Затем подносят сбоку трубки дугообразный магнит и наблюдают смещение пятна. Изменяют направление магнитного поля и наблюдают отклонение пятна в противоположную сторону.

При этом полезно предварительно поставить перед учащимися задачу: определить, пользуясь правилом левой руки, направление смещения пятна на экране, учитывая, что пучок представляет собой поток электронов.

После этого демонстрируют смещение электронного пучка в магнитном поле отклоняющих катушек с током *1* и *2*, которые закрепляют сбоку трубки под винтовые зажимы вертикально (или горизонтально) отклоняющих пластин, как показано на рисунке 3-83. Фокусирующая катушка *3* при этом отсутствует. Катушки соединяют между собой так, чтобы на концах, обращенных к трубке, образовались противоположные магнитные полюсы (соединяют конец обмотки одной катушки с концом другой или начало с началом). Подключают к катушкам аккумулятор через рубильник и реостат и наблюдают отклонение светящегося пятна на экране при включении тока в катушки.

Изменяя реостатом величину тока, показывают плавное смещение пятна по экрану. Затем меняют направление тока в катушках и демонстрируют отклонение пятна в противоположную сторону.

Заменяют аккумулятор магнитоэлектрической машиной и показывают образование светящейся линии на экране — результат колебательного движения электронного пучка в переменном магнитном поле отклоняющих катушек.

После этого переходят к демонстрации магнитной фокусировки электронного пучка при помощи катушки *3* от универсального трансформатора (рис. 3-83). Отклоняющие катушки снимают, чтобы они не отвлекали внимание. Для установки катушки вынимают трубку (при отключенном источнике питания) и на боковые панели освободившейся подставки помещают катушку. Снова вставляют трубку в подставку и к катушке присоединяют батарею аккумуляторов через выключатель и реостат.

Подключают кенотронный выпрямитель и при помощи ручек «яркость» и «фокус» устанавливают на экране размытое (не сфокусированное), но достаточно яркое светящееся пятно. Затем замыкают выключатель и реостатом подбирают необходимую величину тока в катушке (0,4—0,5 А). Этим и заканчивается подготовка.

Демонстрацию опыта проводят в следующей последовательности. Включают выпрямитель в сеть и наблюдают на экране трубки размытое пятно достаточных размеров.

После этого демонстрируют предварительную магнитную фокусировку путем перемещения катушки с током вдоль горловины трубки. На экране при этом наблюдают заметное изменение размеров пятна.

Затем показывают более точную фокусировку. Оставив катушку в том положении, в котором получалось пятно меньших размеров, изменяют реостатом величину тока в катушке. Наблюдают, как светящееся пятно постепенно сводится в небольшую светящуюся точку.

§ 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

ОПЫТ 153. ЭЛЕКТРОННАЯ И ДЫРОЧНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Оборудование: 1) термоэлемент полупроводниковый на подставке, 2) гальванометр демонстрационный от вольтметра, 3) провода соединительные, 4) нагреватель — электрический паяльник или спиртовка, 5) кинофильм «Полупроводники и их применение в технике»[1], 6) кинопроектор.

Для демонстрации двух видов электропроводности примесных полупроводников применяют полупроводниковый термоэлемент. Вид электропроводности определяют по направлению термотока в цепи. Опыт начинают с демонстрации электронной проводимости.

[1] Полупроводники и их применение в технике. 2 ч. (5 фрагм.). Ленинградская киностудия научно-популярных фильмов. 1964. Продолжительность демонстрации — 16 мин.

Собирают установку по рисунку 3-84. Индикатором термотока служит демонстрационный гальванометр с малым внутренним сопротивлением (от вольтметра) и шкалой «5—0—5». Его стрелку предварительно устанавливают на нуль шкалы с помощью механического корректора, а сам прибор подключают к термоэлементу: зажим гальванометра со знаком «+» соединяют с нижним холодным концом полупроводника, обладающего электронной проводимостью (с правым зажимом термоэлемента), а второй зажим гальванометра—с верхним концом полупроводника (с средним зажимом термоэлемента).

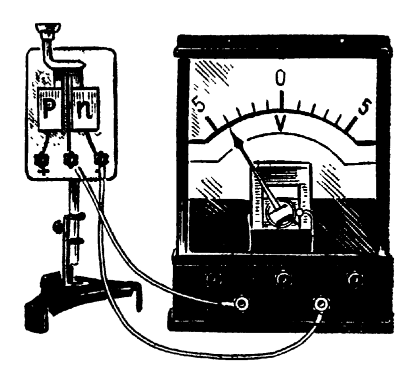


Рис. 3-84. Электронная проводимость полупроводников.

Пока температура обоих концов полупроводника одинакова, тока в цепи нет. Затем верхний конец полупроводника (к нему припаяна медная пластинка) осторожно нагревают, например, слегка разогретым электрическим паяльником. Стрелка гальванометра отклоняется влево. По направлению тока легко определить полярность концов включенного полупроводника. Проверка показывает, что ток в цепи идет от горячего конца полупроводника к холодному. Следовательно, горячий конец полупроводника зарядился положительно, а холодный — отрицательно.

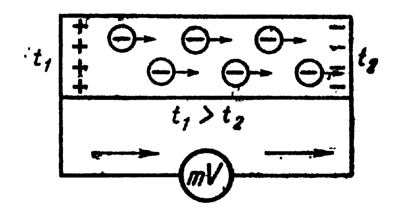


Рис. 3-85. Схема движения электронов в полупроводнике с электронной проводимостью при нагревании одного конца.

По рисунку 3-85, который следует изобразить на классной доске, учащимся объясняют, что такое явление возможно в том случае, если основными носителями заряда в полупроводнике являются электроны. Действительно, при нагревании полупроводника за счет атомов примеси увеличивается число свободных электронов. Эти электроны по законам диффузии начинают перемещаться в полу-

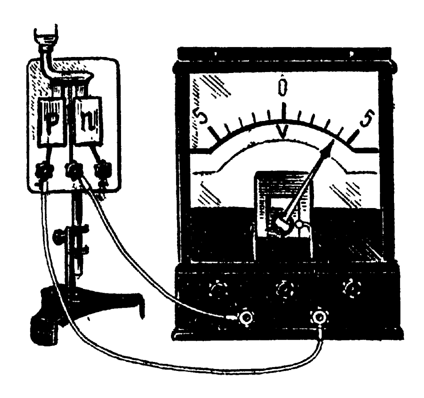


Рис. 3-86. Дырочная проводимость полупроводников.

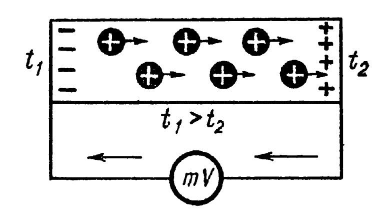


Рис. 3-87. Схема движения дырок в полупроводнике с дырочной проводимостью при нагревании одного конца.

проводнике в сторону холодного конца и заряжают его отрицательно. Горячий конец при этом заряжается положительно. Разделение зарядов приводит к образованию электрического поля, под действием которого и создается термоток в цепи.

Для демонстрации дырочной проводимости гальванометр подключают к концам второго полупроводника термоэлемента, причем нагретый конец полупроводника (средний зажим) соединяют с тем же зажимом гальванометра, что и в первом случае (рис. 3-86). Теперь стрелка гальванометра отклоняется в правую сторону, несмотря на одинаковое включение гальванометра.

Обратное направление тока в цепи указывает на обратную полярность концов полупроводника: горячий конец зарядился отрицательно, а холодный — положительно. Значит, во втором полупроводнике изменился знак носителей заряда. Теперь носителями заряда являются дырки, которые ведут себя как положительные заряды.

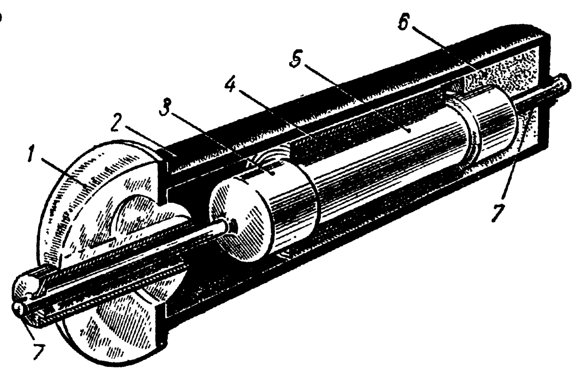
По ходу демонстрации дают объяснение второй части опыта (рис. 3-87). На горячем конце полупроводника возникают дополнительные свободные электроны. Но теперь освободившиеся электроны захватываются атомами примеси и вновь теряют возможность перемещаться и участвовать в проводимости. В то же время в основных атомах полупроводника, из которых эти электроны вырвались, остаются свободные места — дырки. Таких дырок образуется больше в нагретом конце полупроводника. Из соседних атомов на место образовавшихся дырок переходят валентные электроны. Дырки в первых атомах заполняются электронами, но зато они появляются в других атомах. В результате таких своеобразных переходов электронов дырки перемещаются от горячего конца к холодному и заряжают его положительно; горячий же конец полупроводника заряжается отрицательно.

В заключение необходимо подчеркнуть, что дырки не являются реальными частицами; в обоих видах проводимости полупроводников движутся только валентные электроны и никаких других свободных зарядов в полупроводнике нет. Проводимости отличаются друг от друга лишь механизмом движения электронов.

Электронная проводимость обусловлена направленным движением свободных электронов, а дырочная вызвана движением связанных электронов, которые переходят от атома к атому, поочередно замещая друг друга в связях, что эквивалентно движению дырок в противоположном направлении. Фиктивная частица—дырка вводится лишь для простоты описания сложного процесса движения электронов в полупроводнике.

В разъяснении изучаемых явлений большую помощь может

Рис. 3-88. Устройство термистора ММТ-4.



оказать демонстрация учебного кинофильма «Полупроводники и их применение в технике». Здесь следует показать второй и третий фрагменты, которые называются соответственно «Собственная проводимость полупроводников» и «Примесная проводимость полупроводников».

ОПЫТ 154. ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Оборудование: 1) термистор ММТ-4 на подставке, 2) лабораторный прибор с термистором ММТ-1, 3) гальванометр демонстрационный от амперметра, 4) батарея аккумуляторов, 5) выключатель демонстрационный, 6) спиртовка, 7) провода соединительные, 8) стакан со снегом или с холодной водой, 9) учебная таблица «Термистор»[1].

Перед демонстрацией опыта учащихся знакомят с устройством термистора ММТ-4 по учебной таблице «Термистор», где прибор изображен крупным планом в разрезе (рис. 3-88). Буквы *ММ* означают полупроводниковый материал, из которого сделан термистор (окислы марганца и меди); *Т* — термистор; *4*—условное обозначение конструктивного оформления.

Термистор имеет форму цилиндрического стержня *5* длиной 12 мм и диаметром 2 мм. На концы стержня надеты контактные колпачки *3* с выводами из медной проволоки *7*. Поверхность стержня покрыта слоем эмалевой краски и обернута металлической фольгой *4*, которая улучшает теплообмен между термистором и окружающей средой. Один вывод термистора припаян оловом *6* ко дну металлического корпуса *2*, а другой — проходит в трубочке, вваренной в стеклянный изолятор *1*. Герметизация термистора обеспечивает его устойчивую работу в условиях повышенной влажности непосредственно в жидкостях.

---

[1] Здесь и далее в этом параграфе название таблиц указано по пособию: Буров В. А, Лисенкер Г. Р., Ушаков М. А. Таблицы по физике. М., вып: III, 1965; вып. IV, 1969.

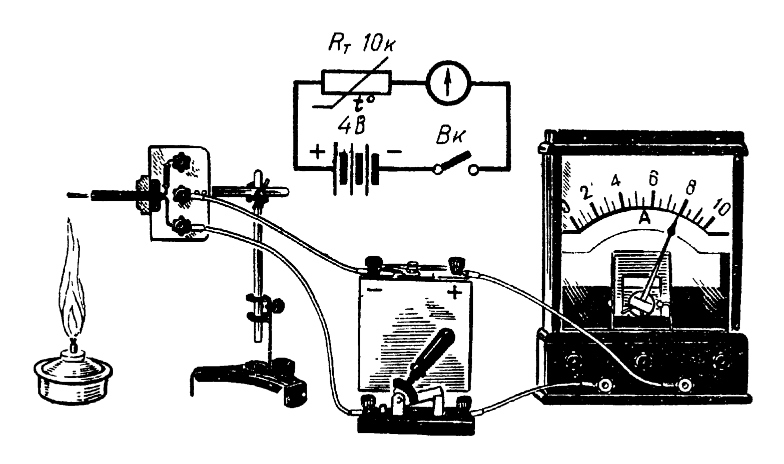


Рис. 3-89. Установка для демонстрации действия термистора.

После рассмотрения таблицы на классной доске вычерчивают схему и по ней собирают установку, показанную на рисунке 3-89. Термистор укрепляют на подставке в горизонтальном положении и включают в электрическую цепь последовательно с демонстрационным гальванометром, батареей аккумуляторов (напряжением около 4 В) и выключателем.

При замыкании цепи гальванометр отмечает небольшой ток: стрелка его отклоняется примерно на 2 деления шкалы «0—10». Величина этого тока зависит (по закону Ома) от напряжения источника тока и начального, так называемого холодного, сопротивления термистора, т. е. его сопротивления при комнатной температуре. После этого термистор медленно нагревают над пламенем спиртовки (пламя не должно касаться прибора) и наблюдают постепенное увеличение тока. Когда стрелка гальванометра будет подходить к последним делениям шкалы, нагревание прекращают.

Далее показывают обратный процесс — охлаждение термистора: снимают термистор со штатива и погружают в стакан со снегом или холодной водой. Стрелка гальванометра быстро перемещается в обратную сторону и через некоторое время останавливается почти у нуля шкалы.

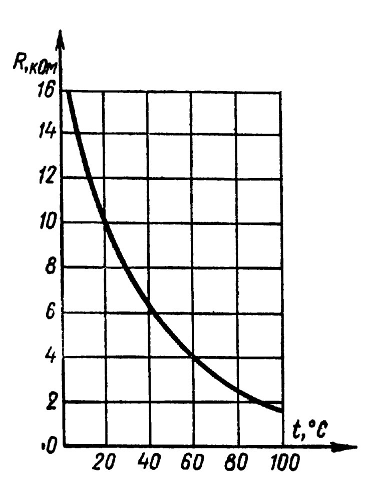


Рис. 3-90. График зависимости сопротивления термистора ММТ-4 от температуры.

Проделанный опыт позволяет сделать вывод, что сопротивление полупроводников с повышением температуры уменьшается и, наоборот, с понижением температуры увеличивается. Для уточнения этого вопроса внимание учащихся снова возвращают к указанной выше таблице «Термистор» и рассматривают график зависимости сопротивления термистора от температуры (рис. 3-90). Этот график показывает, что сопротивление полупроводников резко уменьшается с повышением температуры, причем температурная чувствительность на различных участках неодинакова. Электропроводность полупроводников при высоких температурах близка по величине к электропроводности металлов, а при низких — полупроводники фактически становятся изоляторами.

Учащимся известно, что величина электропроводности определяется концентрацией свободных носителей заряда (электронов, ионов). Следовательно, проделанный опыт дает основание сделать вывод, что концентрация электронов проводимости полупроводников в отличие от металлов зависит от температуры: с повышением температуры концентрация возрастает, а с понижением — уменьшается. Тепловое движение является главной причиной возникновения электропроводности полупроводников. Этот вывод имеет глубоко принципиальное значение. Он показывает, что без затрат внешней энергии образование носителей заряда в полупроводнике невозможно, а следовательно, невозможно и возникновение электрического тока.

С целью подготовки к выполнению в практикуме лабораторной работы «Снятие температурной характеристики термистора» учащихся знакомят с устройством лабораторного прибора и кратко с порядком выполнения этой работы.

Прибор (рис. 3-91) надо спроецировать на экран с помощью эпидиаскопа или проекционного аппарата и рассказать, что здесь применен термистор *1* типа ММТ-1. Его выводы припаяны к двум медным проводам *2*, которые проходят через отверстия в монтажной панели *3* и заканчиваются двумя зажимами. В середине панели сделано отверстие *4*, в которое вставлена небольшая трубочка. Термистор вместе с трубочкой заключен в стеклянную пробирку.

При выполнении работы пробирку с термистором погружают в стакан с водой, а внутрь трубочки вставляют технический термометр. Сопротивление термистора при различных температурах измеряют омметром.

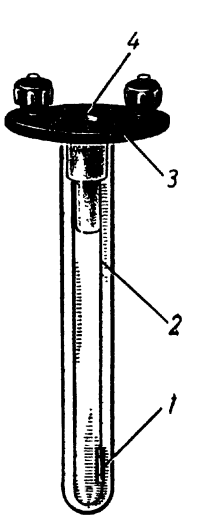


Рис. 3-91. Лабораторный прибор для снятия температурной характеристики термистора.

В заключение следует отметить, что в настоящее время промышленность выпускает различные типы термисторов с разнообразными электрическими характеристиками и конструкциями

исполнения. С внешним видом различных термисторов и их назначением можно ознакомить учащихся по учебной таблице «Термистор».

ОПЫТ 155. УСТРОЙСТВО И ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТЕРМОМЕТРА СОПРОТИВЛЕНИЯ

Оборудование: 1) термометр демонстрационный электрический, 2) термометр демонстрационный жидкостный, 3) стаканы с водой разной температуры — 2 шт., 4) провода соединительные.

Перед демонстрацией опыта учащихся кратко знакомят с устройством школьного электрического термометра сопротивления, который дает возможность измерять температуру в интервале от —20 до +120 °С.

Прибор состоит из трех частей (рис. 3-92): датчика температуры *1* в виде термистора ММТ-4, который при комнатной температуре имеет сопротивление приблизительно 1 кОм, специального измерительного мостика *2*, смонтированного в пластмассовом корпусе, и школьного демонстрационного гальванометра *3*.

На доске вычерчивают схему прибора по рисунку 3-92 и поясняют, что резисторы R_1 = 1000 Ом, R_2 = 510 Ом, R_3 = 2,2 кОм и датчик температуры R_T = 1 кОм образуют измерительный мостик. В диагональ мостика включают демонстрационный гальванометр. Питается мостик от источника постоянного тока напряжением 4 В через потенциометр R_4 = 470 Ом. Мостик сбалансирован при температуре 0 °С с помощью переменного резистора R_3.

Термистор укреплен на конце металлической трубки. К выводам термистора припаяны гибкие изолированные провода длиной около метра. Они выведены через трубку и оканчиваются двумя однополюсными вилками.

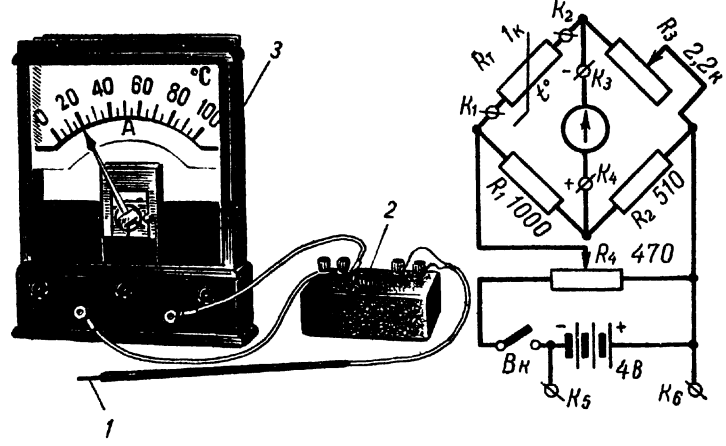


Рис. 3-92. Электрический термометр сопротивления.

На крышку корпуса выведены следующие детали (см. схему): зажимы K_1 и K_2 для включения датчика, зажимы K_3 и K_4 для включения демонстрационного гальванометра, ручка потенциометра R_4 и выключатель $B_к$ источника питания. Зажимы для включения датчика помечены на приборе «ТС», а зажимы для включения гальванометра — «Г». Источник питания (батарея от карманного фонаря) находится вместе с остальными деталями мостика внутри корпуса и отделен от них перегородкой. Батарею вставляют в корпус через съемное дно.

К двум зажимам, расположенным также на крышке корпуса (на схеме они обозначены буквами K_5 и K_6), в случае необходимости можно присоединить внешний источник тока.

При температуре датчика, отличной от 0 °С, баланс мостика нарушается и через гальванометр идет ток, величина которого находится в прямой зависимости от температуры. При указанных величинах сопротивлений плеч мостика эта зависимость является почти линейной.

Ток в диагонали мостика зависит также от величины напряжения питания, которое регулируется потенциометром R_4. Это позволяет плавно изменять чувствительность термометра и в случае надобности уменьшать интервал рабочих температур, повышая тем самым точность измерений. В связи с этим термометр снабжен тремя сменными шкалами, которые содержат по 20 делений и отличаются лишь оцифровкой, характеризующей интервал измеряемых температур: первая шкала от 0 до 40 °С, вторая — 0—60 °С и третья — 0—100 °С. Цена делений шкал соответственно равна 2, 3 и 5 °С.

Показывают этот термометр в действии, для чего в измерительный мостик включают датчик температуры и демонстрационный гальванометр с температурной шкалой 0—100 °С.

Датчик вместе с демонстрационным термометром погружают в стакан с водой и, вращая ручку потенциометра, добиваются совпадения показаний обоих термометров. Для контроля измеряют температуру воды в другом стакане обоими термометрами и наблюдают их одинаковые показания.

Далее демонстрируют возможность изменения чувствительности электрического термометра. Для этого в гальванометр вставляют температурную шкалу 0—40 °С и повторяют описанный опыт.

Для ускорения перехода с одной температурной шкалы на другую можно заранее подобрать три постоянных резистора, сопротивление которых равно соответственно сопротивлению термистора при температурах 40, 60 и 100 °С. В этом случае вначале к зажимам K_1 и K_2 вместо термистора подключают соответствующий резистор и, вращая ручку потенциометра R_4, добиваются отклонения стрелки гальванометра до последнего деления температурной шкалы (40, 60 или 100 °С). После этого к зажимам K_1 и K_2 вместо резистора подключают датчик температуры и производят измерения.

Отмечают, что датчики из термисторов отличаются от других следующими качествами: высокой температурной чувствительностью, малой тепловой инерцией, высоким омическим сопротивлением и др.

Все это дает возможность быстро отмечать малые изменения температуры (порядка тысячных долей градуса) и пренебрегать сопротивлением подводящих проводов (измерять температуру удаленных объектов).

ОПЫТ 156. АВТОМАТИЧЕСКИЙ СИГНАЛИЗАТОР И РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРЫ

Оборудование: 1) термистор ММТ-4 на подставке, 2) поляризованное реле РП-5 на подставке, 3) батарея аккумуляторов, 4) выключатель демонстрационный, 5) спиртовка, 6) реостат на 300 Ом, 7) лампа электрическая мощностью 60 Вт на подставке, 8) провода соединительные.

Принцип действия автоматического сигнализатора и регулятора температуры показывают с использованием термореле, когда термистор работает при малых электрических нагрузках, т. е. нагревается не проходящим током, а вследствие изменения температуры окружающей среды.

Установку опыта собирают по рисунку 3-93. В цепь термистора включают батарею аккумуляторов напряжением около 4 В, выключатель и катушку поляризованного реле. В исполнительную цепь реле включают электрическую лампу мощностью 60 Вт. Контакты реле подбирают так, чтобы при обесточенном реле исполнительная цепь была разомкнута.

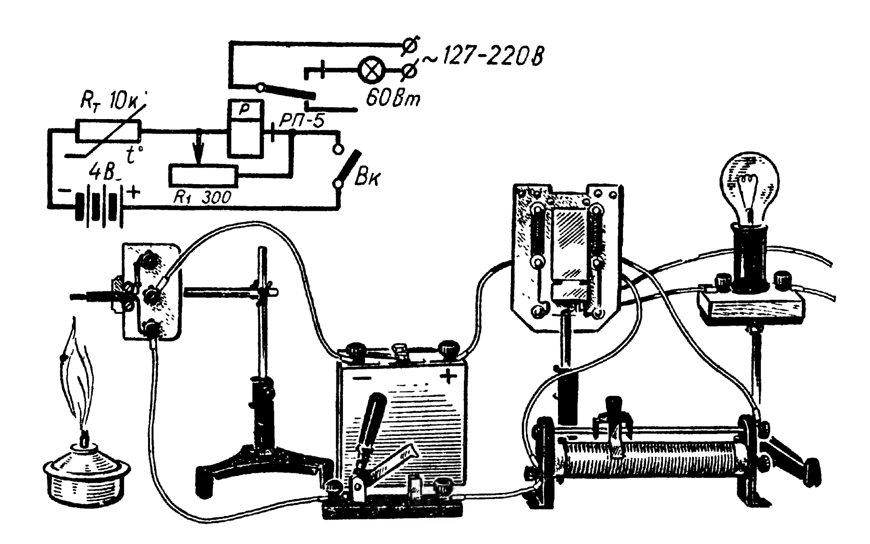


Рис. 3-93. Установка для демонстрации действия термореле.

При замыкании первичной цепи начальный ток может привести в действие реле даже в том случае, когда термистор находится при комнатной температуре. Чтобы исключить это явление, параллельно катушке реле включают реостат сопротивлением около 300 Ом: подвижный контакт его устанавливают в такое положение, при котором реле удерживает исполнительную цепь разомкнутой.

При незначительном нагревании датчика-термистора реле срабатывает и включает лампу, т. е. подает сигнал о повышении температуры окружающей среды. Лампа продолжает гореть до тех пор, пока термистор не примет начальную температуру.

Далее показывают, что температуру, при которой срабатывает реле, можно регулировать с помощью реостата, включенного параллельно катушке поляризованного реле.

Для демонстрации принципа действия автоматического регулятора температуры в термореле вводят обратную связь между датчиком температуры и лампой-нагревателем, включенной в исполнительную цепь реле. Лампу устанавливают под термистором вместо спиртовки и подключают к нормально замкнутым контактам реле. Теперь при замыкании первичной цепи включается и лампа, но через некоторое время, когда температура термистора повысится и станет больше заданной величины, реле выключит лампу и прекратит подачу тепла. Лампа и термистор будут охлаждаться. Датчик-термистор опять обнаружит отклонение температуры от требуемого значения и будет воздействовать на реле, которое вновь включит лампу-нагреватель. Таким образом, термистор все время контролирует температуру и полученную информацию передает в регулирующий орган — реле, управляющее притоком электроэнергии в лампу-нагреватель. Величина контролируемой температуры устанавливается с помощью реостата, шунтирующего обмотку реле.

На примере этого опыта полезно подчеркнуть значение отрицательной обратной связи для различных автоматических регуляторов и обратить внимание на то, что в таком случае регулятор как бы соединяет в себе автоматический контроль и управление.

ОПЫТ 157. ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ОТ ОСВЕЩЕННОСТИ

Оборудование: 1) фоторезистор ФС-К1 на подставке, 2) гальванометр демонстрационный от амперметра, 3) батарея аккумуляторов, 4) электрическая лампа мощностью 60—100 Вт на подставке, 5) провода соединительные, 6) учебная таблица «Фоторезистор».

Перед демонстрацией опыта учащихся знакомят с устройством полупроводникового фоторезистора ФС-К1 по таблице «Фоторезистор», где он изображен крупным планом в разрезе (рис. 3-94).

Фоторезистор представляет собой тонкий светочувствительный слой полупроводника *1*, состоящий из сернистого кадмия, нанесенного на круглую изолирующую пластинку *4*, края которой запрессованы в кольцеобразную пластмассовую оправу *2*. С противополож-

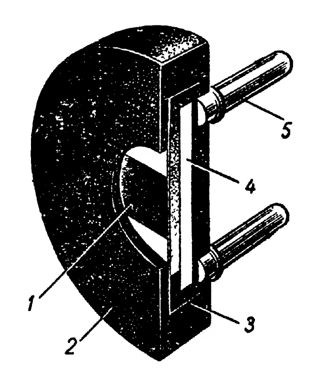


Рис. 3-94. Устройство фоторезистора ФС-К1.

ных сторон полупроводникового слоя сделаны токоотводы *3*, которые соединены с двумя запрессованными в оправу электродами в виде вилки *5*. Для защиты полупроводникового слоя от загрязнения и атмосферного влияния поверхность его покрыта прозрачным лаком.

Затем собирают установку по рисунку 3-95. Фоторезистор ФС-К1 включают в цепь источника постоянного тока напряжением около 4 В последовательно с демонстрационным гальванометром от амперметра. Обращают внимание на малую величину начального тока. Этот ток называют темновым. Он зависит от электрического сопротивления, которым обладает фоторезистор, и от приложенного к нему напряжения.

Далее зажигают электрическую лампу и, медленно приближая и удаляя ее от фоторезистора, наблюдают увеличение и уменьшение тока в цепи. Делают вывод, что сопротивление полупроводников при увеличении их освещенности уменьшается.

Изменение сопротивления под действием света объясняют увеличением количества свободных носителей заряда. Это явление называют внутренним фотоэффектом, а разность между световым и темновым током — фототоком.

Для уточнения зависимости тока от освещенности внимание учащихся возвращают к таблице «Фоторезистор» и рассматривают изображенные на ней графики (рис. 3-96). Первая кривая снята при напряжении 10 В, вторая — при напряжении 4 В. Графики показывают, что ток по мере увеличения освещенности приближается к насыщению, и тем быстрее, чем меньше напряжение на фоторезисторе.

Снова возвращаются к демонстрационной установке и при постоянной освещенности изменяют полярность включения фоторе-

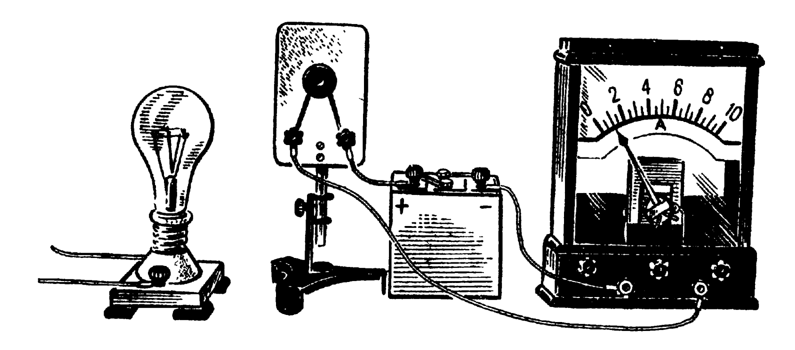


Рис. 3-95. Установка для демонстрации действия фоторезистора.

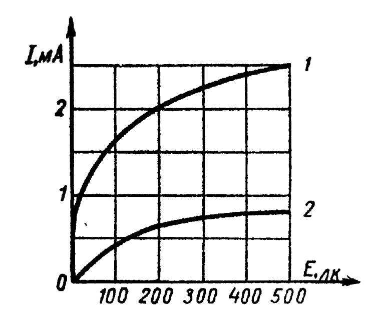


Рис. 3-96. Световые характеристики фоторезистора ФС-К1:
1 — при напряжении 10 В; *2* — при напряжении 4 В.

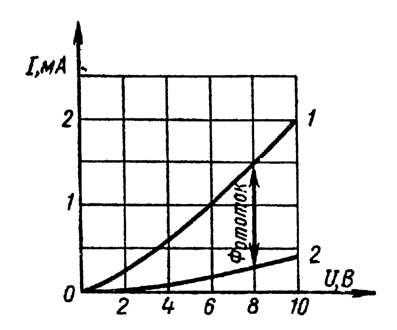


Рис. 3-97. Вольт-амперная характеристика фоторезистора ФС-К1:
1 — при освещенности 200 лк; *2* — в темноте.

зистора в цепь. При этом наблюдают, что величина тока остается неизменной.

Делают вывод, что фоторезистор одинаково хорошо проводит ток как в одном, так и в другом направлении. Он представляет собой в электрическом отношении обычный высокоомный резистор.

Затем показывают, что ток в цепи с фоторезистором зависит также от величины приложенного внешнего напряжения. Для этого, не изменяя освещенности фоторезистора, включают в электрическую цепь один, два, а затем три аккумулятора. Отмечают линейную зависимость между током и приложенным напряжением.

По таблице «Фоторезистор» учащимся объясняют вольт-амперную характеристику фоторезистора, снятую в темноте и при освещенности в 200 лк (рис. 3-97). Обращают внимание, что фототок не имеет насыщения и, следовательно, световая чувствительность фоторезистора пропорциональна приложенному напряжению.

В заключение отмечают широкое применение фоторезисторов в автоматике и контрольно-измерительной технике. С внешним видом некоторых фоторезисторов можно ознакомить учащихся по таблице «Фоторезистор».

ОПЫТ 158. ДЕЙСТВИЕ ПРОСТЕЙШЕГО ФОТОРЕЛЕ

Оборудование: 1) фоторезистор ФС-К1 на подставке, 2) поляризованное реле РП-5 на подставке, 3) батарея аккумуляторов, 4) электрическая лампа мощностью 60 Вт на подставке, 5) фонарь электрический карманный, 6) кювета стеклянная с плоскопараллельными стенками на подставке, 7) стаканы химические с водой — 2 шт., 8) резиновая трубка длиной около 50 см, 9) подъемный столик, 10) выключатель демонстрационный, 11) пипетка, 12) пластинка из белой жести, 13) наждачная бумага, 14) провода соединительные.

Для демонстрации фотореле собирают установку по рисунку 3-98. В цепь батареи аккумуляторов включают последовательно фоторезистор ФС-К1, поляризованное реле РП-5 и однополюсный

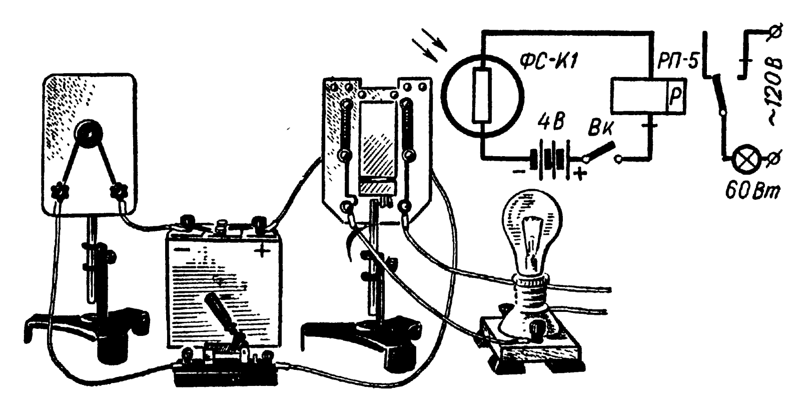


Рис. 3-98. Фотореле с фоторезистором.

выключатель. Контакты реле регулируют так, чтобы якорь мог занимать только два крайних положения, а лампа, включенная в исполнительную цепь, загоралась при освещенном фоторезисторе и гасла при его затемнении.

С этим фотореле показывают опыты, раскрывающие принципы работы простейших фотоэлектронных устройств автоматики.

1. Фоторезистор освещают электрическим фонариком. Фотореле реагирует на свет и включает сигнальную лампу. Затем пучок света, падающий на фоторезистор, неоднократно и с различной скоростью пересекают рукой. Фотореле успевает каждый раз включить и выключить сигнальную лампу.

Учащимся сообщают, что по этому принципу работают разнообразные автоматические счетчики и сортировщики изделий.

Далее переключают контакты реле, так чтобы лампа в исполнительной цепи загоралась при затемненном фоторезисторе, и продолжают опыты.

2. На пути пучка света от электрического фонарика, направленного на фоторезистор, устанавливают на подъемном столике химический стакан (рис. 3-99).

В начале опыта стакан пуст: пучок света свободно проходит через стекло и попадает на фоторезистор. Реле удерживает свои контакты, и сигнальная лампа не горит.

Затем в стакан медленно наливают подкрашенную чернилами воду и наблюдают за поднятием ее уровня. Как только вода закроет доступ лучам света к фоторезистору, фотореле включит сигнальную лампу.

После этого воду переливают в другой, пустой стакан с помощью сифона. Теперь уже сосредоточивают внимание учащихся на опускающемся уровне воды в стакане. Когда уровень понизится настолько, что откроет доступ пучку света к фоторезистору, фотореле снова сработает и выключит лампу.

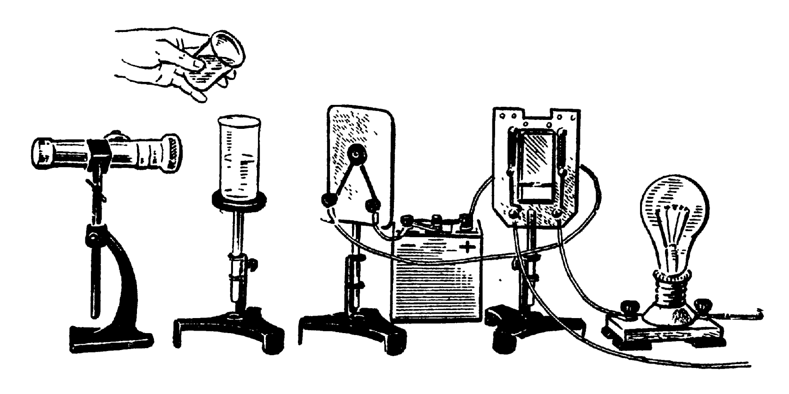


Рис. 3-99. Установка для демонстрации сигнализации уровня жидкости.

В этом опыте вместо воды можно взять любое сыпучее вещество: песок, соль, зерно и т. д. Каждый раз при повышении или понижении уровня до границы прохождения пучка света фотореле будет включать или выключать сигнализацию (лампу или электрический звонок).

Высоту контролируемого уровня воды или сыпучих тел в стакане можно изменять с помощью подъемного столика. После опыта учащимся сообщают, что подобные автоматические устройства применяют на различных производствах, где не только подаются звуковые или световые сигналы об изменении уровней различных жидкостей или сыпучих тел (руда, уголь, песок, зерно и т. д.), но и автоматически происходит их выравнивание.

3. На пути пучка света от электрического фонарика к фоторезистору на подставке устанавливают стеклянную кювету с плоскопараллельными стенками. В кювету наливают чистую воду. Прозрачная вода пропускает свет почти без ослабления, и фотореле держит цепь лампы разомкнутой.

Затем в воду с помощью пипетки постепенно вводят по каплям чернила от авторучки. Фотореле реагирует на изменение прозрачности воды и при некоторой определенной густоте окраски подает световой сигнал.

Учащимся сообщают, что таким приемом можно контролировать прозрачность воды в городском водопроводе, концентрацию различных растворов.

4. Затемняют классную комнату настолько, чтобы от реле зажглась сигнальная лампа. Затем освещают электрическим фонариком блестящую поверхность пластинки из белой жести так, чтобы отраженный от нее свет падал на фоторезистор. Фотореле срабатывает и выключает сигнальную лампу.

После этого пластинку на том же месте поворачивают обратной стороной, предварительно обработанной крупнозернистой наждачной бумагой. От шероховатой поверхности на фоторезистор падает

значительно меньше света. Освещенность оказывается недостаточной для срабатывания фотореле. Лампа, включенная в исполнительную цепь, продолжает гореть, сигнализируя о плохом качестве обработки поверхности.

5. Фоторезистор освещают дневным светом. Освещенность фоторезистора должна быть достаточной, чтобы реле удерживало цепь лампы разомкнутой. Затем классную комнату медленно затемняют, закрывая окна шторами, и наблюдают за установкой. По мере наступления темноты освещенность уменьшается, фотореле срабатывает и включает лампу. Очевидно, лампа будет гореть все время, пока не поднимут шторы; она гаснет только с наступлением «рассвета». Опыт раскрывает принцип действия автоматического включения уличного освещения.

В этом опыте сигнальную лампу следует установить так, чтобы свет от нее не попадал непосредственно на фоторезистор.

6. Перед фоторезистором устанавливают сигнальную лампу, включенную в исполнительную цепь реле. Свет от нее приводит в действие реле, и лампа гаснет. Но в это время реле перебрасывает свой якорь и снова включает лампу. Свет вспыхнувшей лампы опять размыкает цепь питания. Частота миганий зависит от расстояния лампы до фотореле. Опыт раскрывает принцип действия автоматического электробакена.

ОПЫТ 159. АВТОМАТИЧЕСКИЙ СЧЕТ И СОРТИРОВКА ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ФОТОРЕЛЕ

Оборудование: 1) фоторезистор ФС-К1 на подставке, 2) поляризованное реле РП-5 на подставке, 3) батареи аккумуляторов — 2 шт., 4) модель конвейера, 5) электронный счетчик, 6) модель для сортировки деталей по прозрачности, 7) батареи для карманного фонаря — 2 шт., 8) подъемный столик, 9) провода соединительные.

1. Для демонстрации автоматического счета деталей собирают установку, показанную на рисунке 3-100. В нее входит простейшее фотореле, подробно описанное в предыдущем опыте, модель конвейера и электронный счетчик-секундомер.

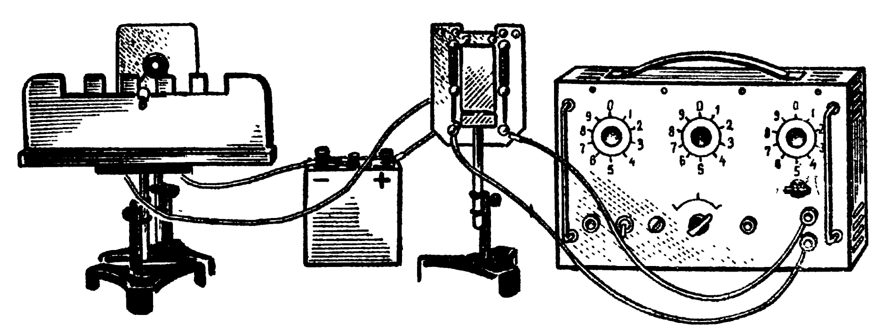


Рис. 3-100. Установка для демонстрации автоматического счета.

Модель конвейера (рис. 3-101) представляет собой замкнутую транспортерную ленту *1*, на которой на одинаковом расстоянии друг от друга укреплены деревянные кубики *2*. Лента с кубиками надета на два шкива *3* и *4*, один из которых приводится в движение электрическим микродвигателем *5*. Вал электродвигателя сцеплен с валом шкива с помощью червячной передачи *6*. Все детали конвейера смонтированы на стойке *7* с основанием *8*. Сбоку конвейерной ленты укреплена электрическая лампа *9* на 3,5 В. Микродвигатель и лампа питаются от одной батареи *10*.

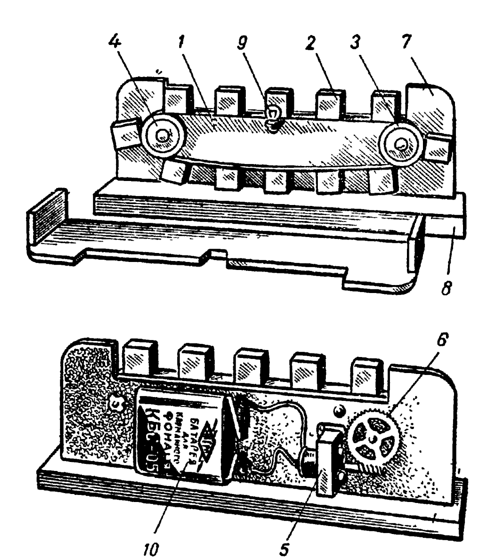
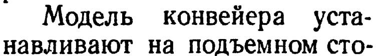


Рис. 3-101. Модель конвейера: вверху — лицевая сторона; внизу — оборотная.



Модель конвейера устанавливают на подъемном столике перед фоторезистором так, чтобы пучок света, падающий на фоторезистор от лампы-осветителя, полностью перекрывался проходящим на конвейере кубиком. К выходным нормально разомкнутым контактам поляризованного реле присоединяют электронный счетчик и устанавливают его ручку переключателя в положение «механические замыкания». Затем включают питание электронного счетчика (он питается от сети) и нажимают кнопку «сброс».

Когда установка подготовлена, включают ток в цепь питания электрического двигателя. Лента конвейера приходит в движение, и одновременно загорается лампа-осветитель.

Для того чтобы учащиеся смогли лучше понять работу фотоэлектронного счетчика, конвейер заставляют вначале двигаться медленно, притормаживая его рукой. При медленном движении наблюдают, как каждый кубик-изделие при своем движении пересекает пучок света, падающий от лампы на фоторезистор. Фотореле срабатывает, замыкает каждый раз входную цепь счетчика, который и показывает число прошедших кубиков.

Далее конвейер пускают с полной скоростью и наблюдают быстрый автоматический счет движущихся кубиков. Обращают внимание на то, что вести устный счет кубиков теперь очень трудно.

Для проверки правильности автоматического счета можно рекомендовать следующий прием. Отметить один из кубиков мелом и, медленно вращая ленту рукой, сосчитать все находящиеся на ней кубики. Затем пустить установку с нормальной скоростью и,

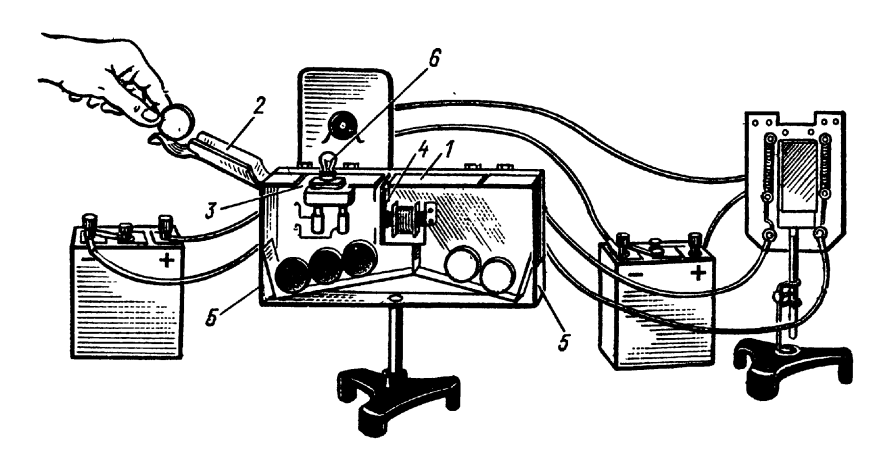


Рис. 3-102. Установка для демонстрации автоматической сортировки деталей по прозрачности.

отсчитав на глаз несколько оборотов ленты, вычислить количество прошедших перед фоторезистором кубиков. После этого сравнить полученное число с результатом, который будет показан счетчиком.

2. На рисунке 3-102 представлена установка для демонстрации автоматической сортировки изделий по прозрачности. Установка состоит из простейшего фотореле и прибора по сортировке с шестью цилиндриками одинакового размера и веса, отличающихся тем, что три из них прозрачны, а три непрозрачны.

Прибор для демонстрации автоматической сортировки изделий по прозрачности имеет вверху желоб *1* с откидным скатом *2*. По всему желобу свободно могут двигаться сортируемые цилиндрики. В середине желоба сделано прямоугольное отверстие. В нормальном состоянии это отверстие закрыто откидывающейся вниз пластинкой *3*. Пластинку удерживает якорь *4* электромагнита, расположенный под желобом, который вместе с электромагнитом укреплен на вертикальной стойке прибора.

В нижней части прибора имеются два ящика-отсека, лицевые стороны которых сделаны из стекла. В отсеках хранятся сортируемые цилиндрики. Для вынимания цилиндриков отсеки с противоположных сторон имеют откидные дверцы *5*.

Сбоку желоба на некоторой высоте укреплена электрическая лампа-осветитель *6*, рассчитанная на 3,5 В. Лампа и обмотка электромагнита присоединены к левой паре зажимов. На приборе установлена вторая пара зажимов, соединенная последовательно с обмоткой электромагнита.

Описанный выше прибор устанавливают так, чтобы лампа-осветитель оказалась против фоторезистора. Тогда цилиндрик, катящийся по лотку, целиком перекрывает пучок света, падающий от лампы на фоторезистор.

Выходные контакты поляризованного реле соединяют с входными гнездами прибора, а электромагнит с лампой-осветителем питают от второй батареи аккумуляторов 3НКН-10.

Сосредоточив внимание учащихся на собранной установке, пускают по желобу один за другим цилиндрики. Прозрачные проходят беспрепятственно и, дойдя до края желоба, падают в правый отсек прибора. Темные же цилиндрики при движении загораживают на некоторое время свет, и фотореле замыкает цепь электромагнита; его якорь освобождает откидную пластинку в дне желоба, и темные цилиндрики проваливаются в левый отсек прибора. При этом под действием пружины пластинка каждый раз закрывает отверстие в дне желоба и якорь электромагнита снова удерживает ее в горизонтальном положении.

К концу опыта все цилиндрические изделия оказываются рассортированными по их прозрачности: слева собираются темные, справа — прозрачные.

ОПЫТ 160. ОДНОСТОРОННЯЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Оборудование: 1) диоды полупроводниковые Д7Ж на подставке, 2) лабораторный прибор с полупроводниковым диодом Д7Ж, 3) гальванометр демонстрационный от амперметра, 4) батарея аккумуляторов напряжением 4 В, 5) реостат на 3000 Ом, 0,3 А, 6) провода соединительные, 7) учебная таблица «Диод», 8) кинофильм «Полупроводники и их применение в технике», 9) кинопроектор.

Перед демонстрацией опыта учащимся следует дать понятие об электронно-дырочных переходах и способах их получения, а также рассмотреть физическую сущность процессов, приводящих к образованию запирающего слоя. Эти сведения необходимы для лучшего понимания опыта.

После этого учащихся знакомят с устройством полупроводникового диода по таблице «Диод», где он представлен в разрезе (рис. 3-103).

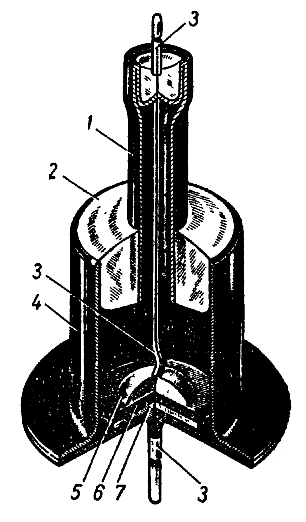


Рис. 3-103. Устройство диода Д7Ж.

Полупроводниковый диод Д7Ж состоит из монокристаллической пластинки германия *6*, обладающей электронной проводимостью. В верхнюю часть пластинки вплавлена капля индия *5*, а нижняя часть припаяна оловом *7* к металлическому корпусу *4*. В процессе плавления атомы индия диффундировали внутрь германия и образовали поверхностную область с дырочной проводимостью. Остальная часть пластинки, куда атомы индия не попали, осталась с электронной проводимостью. В результате в пластинке образовались две

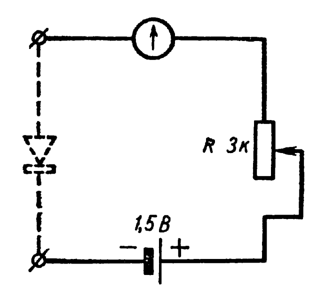


Рис. 3-104. Схема демонстрационного омметра.

резко разграниченные области с различным видом проводимости, т. е. электронно-дырочный переход толщиной в несколько микрон.

Пластинка германия помещена в герметически закрытый сварной металлический корпус *4*, который изолирует ее от атмосферного воздуха и света, обеспечивая устойчивую работу электронно-дырочного перехода при изменении влажности окружающей среды и давления. От пластинки сделаны два вывода *3*, причем один из них проходит в металлической трубке *1*, изолированной от корпуса стеклом *2*.

Рассмотрев устройство диода, приступают к демонстрации зависимости сопротивления его электронно-дырочного перехода от полярности приложенного напряжения. Для этого сначала собирают демонстрационный омметр по схеме, показанной на рисунке 3-104, и с помощью реостата устанавливают в цепи ток такой величины, чтобы стрелка гальванометра отклонилась до последнего деления шкалы «0—10» (нуль омметра).

Затем в цепь омметра включают полупроводниковый диод в пропускном направлении, как показано на схеме пунктиром, и получают установку, изображенную на рисунке 3-105. Омметр показывает, что сопротивление диода в пропускном направлении мало.

По схеме (рис. 3-106, *а*) объясняют результаты этого опыта. При действии внешнего электрического поля, направленного от дырочного полупроводника к электронному, основные носители заряда в каждом полупроводнике движутся к границе их раздела и разрушают запирающий слой, обогащая его свободными носителями заряда. Это приводит к уменьшению его сопротивления. Электрический ток, созданный основными носителями заряда, называют прямым током диода.

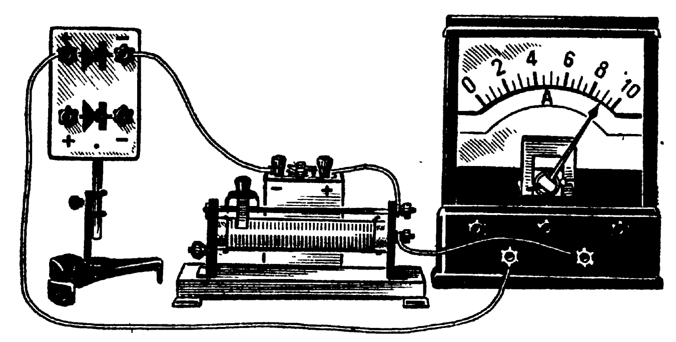
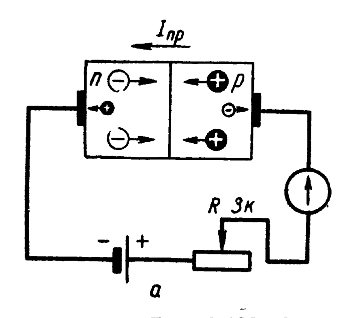


Рис. 3-105. Односторонняя проводимость полупроводникового диода.



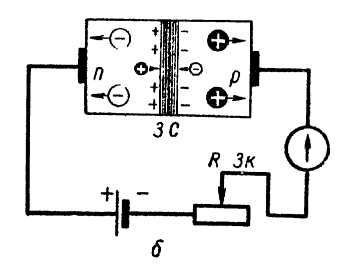


Рис. 3-106. Схема действия полупроводникового диода:
а — диод включен в направлении пропускания тока; *б* — диод включен в направлении запирания тока.

После этого в прежней установке изменяют полярность включения диода. Ток в цепи уменьшается почти до нуля. Это указывает на значительное увеличение сопротивления запирающего слоя и его одностороннюю электропроводность.

Выясняют причину этого явления. Свободные электроны в электронном полупроводнике движутся теперь к положительному полюсу источника тока, а дырки в дырочном полупроводнике — к отрицательному (рис. 3-106, *б*). В результате основные носители заряда удаляются от границы полупроводников, толщина запираю-

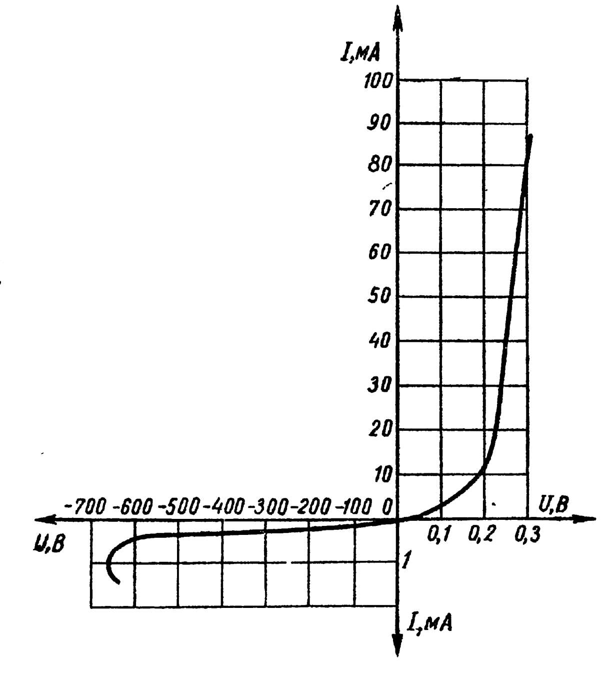


Рис. 3-107. Вольт-амперная характеристика диода Д7Ж.

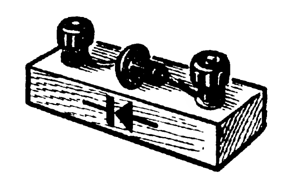


Рис. 3-108. Диод Д7Ж на панели (лабораторный прибор).

щего слоя увеличивается и сопротивление его возрастает. Лишь очень небольшой по величине ток, который называют обратным током диода, поддерживается теперь движением неосновных носителей заряда к границе полупроводников.

На схеме полупроводникового диода основные носители заряда в каждом полупроводнике изображены большими кружочками, а неосновные носители заряда — маленькими.

Далее внимание учащихся обращают на вольт-амперную характеристику диода (рис. 3-107). Из графика видно, что прямой ток, начиная с некоторого значения, зависит от напряжения почти линейно, а обратный, наоборот, почти не зависит от приложенного напряжения. Следовательно, прямое сопротивление перехода с повышением внешнего напряжения вначале постепенно уменьшается, а затем остается почти постоянным. Обратное же сопротивление возрастает почти пропорционально приложенному напряжению.

В разъяснении физических процессов, совершающихся в электронно-дырочном переходе, большую помощь может оказать учебный кинофильм «Полупроводники и их применение в технике». Процесс образования электронно-дырочного перехода и его основное свойство — односторонняя проводимость — раскрываются в четвертом фрагменте фильма.

Для подготовки учащихся к выполнению в практикуме лабораторной работы «Снятие вольт-амперной характеристики полупроводникового диода» необходимо пояснить устройство лабораторного прибора (рис. 3-108) и порядок выполнения работы.

ОПЫТ 161. ВЫПРЯМЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ДИОДОМ

Оборудование: 1) диоды полупроводниковые Д7Ж на подставке, 2) трансформатор универсальный, 3) реостат на 3000 Ом, 0,3 А, 4) гальванометр демонстрационный от амперметра, 5) осциллограф школьный, 6) провода соединительные.

Для демонстрации однополупериодного выпрямления переменного тока собирают установку, как показано на рисунке 3-109. Напряжение подают от осветительной сети через школьный универсальный трансформатор с катушками на 120 и 12 В. К половине вторичной катушки трансформатора подключают последовательно полупроводниковый диод, демонстрационный гальванометр от амперметра и реостат, как показано на схеме (рис. 3-110, *а*).

При замыкании первичной цепи трансформатора гальванометр обнаруживает постоянный по направлению ток. Учащимся объясняют, что под действием внешнего переменного напряжения, график

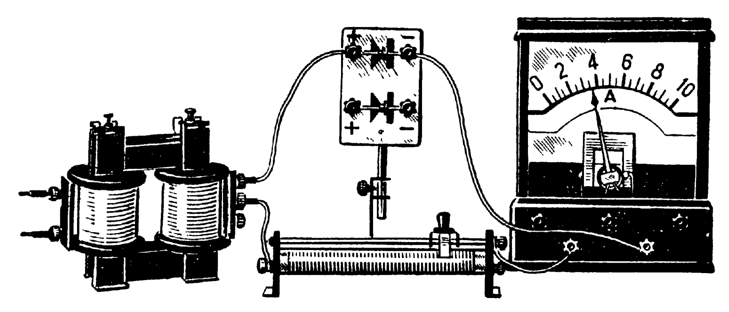


Рис. 3-109. Установка для демонстрации однополупериодного выпрямления переменного тока полупроводниковым диодом.

которого показан на рисунке 3-110, *б*, запирающий слой полупроводникового диода «пульсирует»: меняется его толщина и сопротивление. Это создает благоприятные условия для прохождения электрического тока от дырочного полупроводника к электронному (пропускное направление) и неблагоприятные условия для прохождения тока в обратном направлении. Иначе говоря, в течение второго полупериода он становится настолько слабым, что практически его можно не принимать во внимание (рис. 3-110, *в*).

Затем в цепь вторичной катушки трансформатора включают оба диода (рис. 3-111) и демонстрируют двухполупериодное выпрямление переменного тока. Установку собирают по рисунку 3-112, где представлена схема *а* включения приборов, графики напряжения *б* и тока *в* во вторичной цепи при двухполупериодном выпрямлении. При сборке установки левые зажимы диодов соединяют с крайними зажимами вторичной катушки трансформатора, а правые — замыкают накоротко. Между общей точкой диодов и средним зажимом катушки трансформатора включают демонстрационный гальванометр с нагрузочным реостатом 3 кОм. По сравнению с первым опытом ток в цепи увеличивается примерно в 2 раза.

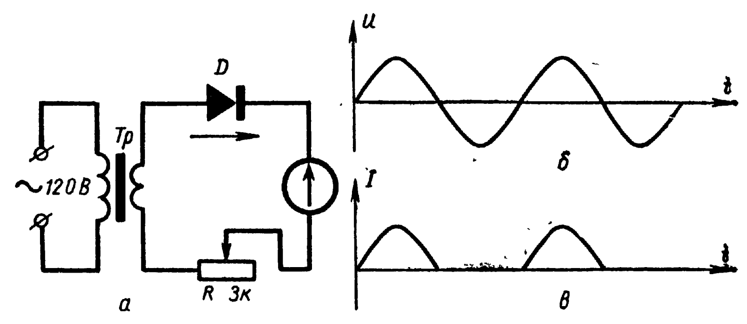


Рис. 3-110. Схема и графики однополупериодного выпрямления переменного тока.

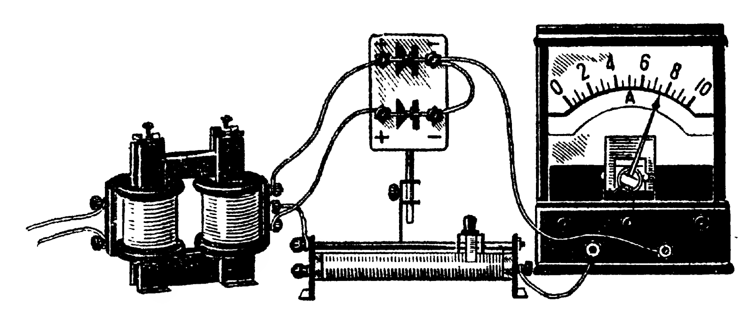


Рис. 3-111. Установка для демонстрации двухполупериодного выпрямления переменного тока полупроводниковыми диодами.

При наличии в школе электронного осциллографа полезно показать формы кривых выходных напряжений и выпрямленных диодами токов. Установки для опытов остаются прежними с той разницей, что из цепи убирают гальванометр и для получения кривой напряжения осциллограф соединяют с зажимами вторичной катушки трансформатора, а для наблюдения кривых тока — с зажимами нагрузочного реостата.

В заключение отмечают основные преимущества полупроводниковых диодов по сравнению с диодами с подогревным катодом: более длительный срок службы, большая механическая прочность, значительно меньший вес и размеры и, наконец, высокая экономичность. Эти преимущества обеспечили полупроводниковым диодам широкое практическое применение в различных областях современной техники.

ОПЫТ 162. ДЕЙСТВИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ТЕРМОЭЛЕМЕНТА

Оборудование: 1) термоэлемент полупроводниковый на подставке, 2) гальванометр демонстрационный от вольтметра, 3) нагреватель — электрический паяльник или спиртовка, 4) провода соединительные, 5) учебная таблица «Термоэлемент», 6) кинофильм «Полупроводники и их применение в технике», 7) кинопроектор.

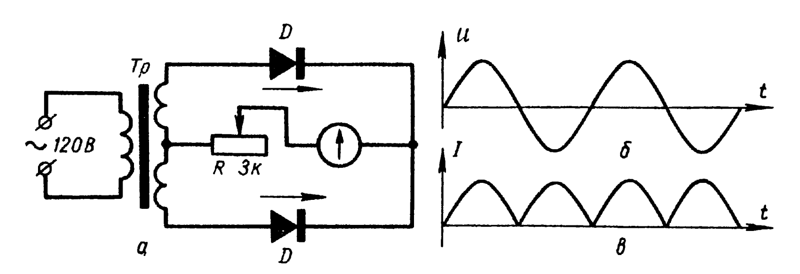


Рис. 3-112. Схема и графики двухполупериодного выпрямления переменного тока.

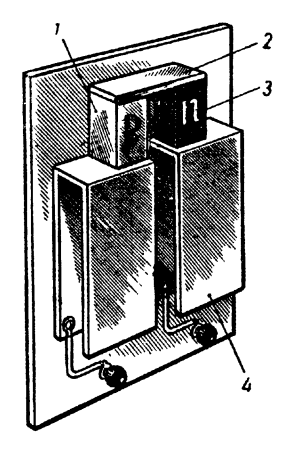


Рис. 3-113. Устройство полупроводникового термоэлемента.

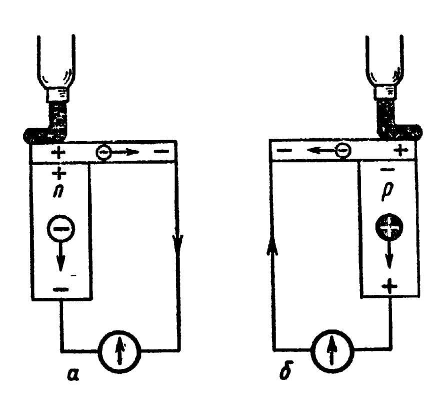


Рис. 3-114. Схема действия термоэлемента:

а — из меди и *n*-полупроводника; *б* — из меди и *p*-полупроводника.

В начале опыта учащимся показывают термоэлемент в натуре, а затем его изображение на учебной таблице «Термоэлемент» (рис. 3-113). Отмечают основные части: два полупроводниковых брусочка *1* и *3*, различающихся видом проводимости, медную пластинку *2*, замыкающую верхние концы брусочков, и *П*-образные медные пластины-радиаторы *4*, предназначенные для отвода тепла и поддержания необходимой разности температур при работе термоэлемента.

Опыт демонстрируют в три приема. Вначале показывают образование термоэлектродвижущей силы в паре проводник — полупроводник с электронной проводимостью. Затем образование термоэлектродвижущей силы в паре проводник — полупроводник, обладающий дырочной проводимостью. И, наконец, работу термоэлемента, обе ветви которого представляют собой полупроводники с различной проводимостью.

В первом случае пару составляют полупроводник термоэлемента и медная пластинка, соединяющая верхние концы полупроводников, вместе с медным проводом, идущим к среднему зажиму (см. рис. 3-84). При нагревании верхнего спая термоэлемента демонстрационный гальванометр обнаруживает термоток. Величина его пропорциональна разности температур спаев термоэлемента.

Обращают внимание на то, что у электронного полупроводника и у медной пластинки горячие концы заряжаются положительно, а холодные — отрицательно (рис. 3-114, *а*), так как в обеих ветвях термоэлемента основными носителями заряда являются свободные электроны. Но ток во внешней цепи, как показывает гальванометр, идет от медной пластинки к полупроводнику. Следовательно, холодный конец полупроводника имеет более низкий

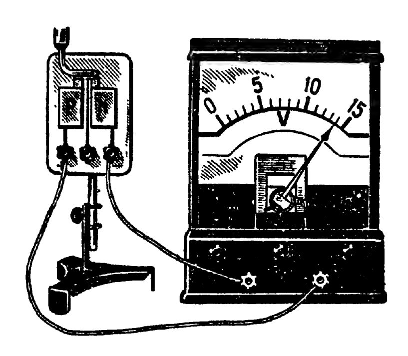


Рис. 3-115. Действие полупроводникового термоэлемента.

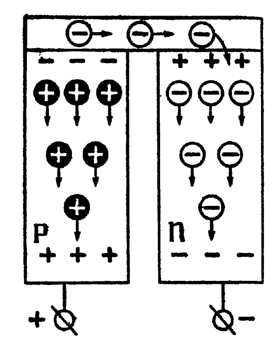


Рис. 3-116. Схема действия полупроводникового термоэлемента.

потенциал, чем холодный конец медной пластинки. Другими словами, разность потенциалов между горячим и холодным концами полупроводника больше разности потенциалов на концах медной пластинки. Результирующее напряжение на зажимах термоэлемента равно разности этих напряжений, так как они действуют навстречу друг другу.

Во втором случае пару составляют верхняя пластинка и дырочный полупроводник термоэлемента. Для обнаружения возникающего напряжения к зажимам термоэлемента подключают демонстрационный гальванометр так, чтобы полупроводниковая ветвь термоэлемента была соединена с правым зажимом гальванометра, а медная — с левым (см. рис. 3-86). При нагревании верхнего спая термоэлемента стрелка гальванометра отклоняется вправо, что указывает на обратное направление тока в цепи.

Холодный конец дырочного полупроводника приобрел положительный потенциал, а холодный конец меди по-прежнему зарядился отрицательно (рис. 3-114, *б*). Результирующее напряжение на зажимах термоэлемента равно сумме напряжений в отдельных ветвях.

И, наконец, в третьем случае напряжение на зажимах термоэлемента измеряют гальванометром со шкалой «0—15», стрелку которого перед измерением переводят на нуль новой шкалы (рис. 3-115).

Опыт показывает, что результирующее напряжение на зажимах полупроводникового термоэлемента представляет сумму напряжений на отдельных ветвях, т. е. оно примерно в 2 раза больше, чем напряжение у термоэлемента, состоящего из меди и полупроводника при той же температуре горячего спая. Медная пластинка, замыкающая горячие концы полупроводников, не оказывает влияния на величину результирующей термоэлектродвижущей силы, так как оба конца ее находятся при одной и той же температуре.

Термоэлектрические явления в полупроводниковом термоэлементе объясняют диффузией основных носителей заряда. Для наглядности объяснения можно воспользоваться таблицей «Термоэлемент», где представлена его схема (рис. 3-116). Кружочки со знаком плюс означают дырки, а кружочки со знаком минус — свободные электроны.

При нагревании верхнего спая термоэлемента носители заряда в обоих полупроводниках (электроны и дырки) начинают диффундировать от горячего спая к холодному. Направление диффузии основных носителей заряда показано на схеме стрелками, расположенными около кружочков. Это перемещение зарядов приводит к скоплению зарядов на концах полупроводников: горячий конец дырочного полупроводника заряжается отрицательно, а холодный — положительно. В электронном полупроводнике картина иная: горячий конец заряжается положительно, а холодный — отрицательно. Такое распределение зарядов влечет за собой образование внутреннего электрического поля. По мере возрастания этого поля диффузия зарядов от горячего конца к холодному замедляется, что в конце концов приводит к установлению динамического равновесия: потоки зарядов от горячих концов полупроводников к холодным и обратно выравниваются. Возникшая при этом разность потенциалов на зажимах есть термоэлектродвижущая сила термоэлемента.

При объяснении принципа действия полупроводникового термоэлемента следует демонстрировать пятый фрагмент учебного кинофильма «Полупроводники и их применение в технике» (5 мин.).

ОПЫТ 163. ДЕЙСТВИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ФОТОЭЛЕМЕНТА

Оборудование: 1) фотоэлемент селеновый СФ-10 на подставке, 2) гальванометр демонстрационный от амперметра, 3) источник постоянного тока напряжением около 1,5 В, 4) реостат на 3000 Ом, 0,3 А, 5) лампа электрическая на подставке, 6) шнур электрический с вилкой и провода соединительные, 7) учебная таблица «Фотоэлемент».

Перед демонстрацией опыта учащихся знакомят с устройством полупроводникового фотоэлемента по учебной таблице «Фотоэлемент», где прибор изображен в разрезе (рис. 3-117).

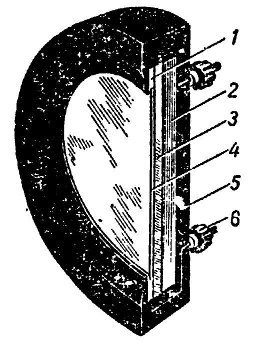


Рис. 3-117. Устройство селенового фотоэлемента.

Селеновый фотоэлемент представляет собой железную пластинку *2*, покрытую тонким слоем селена *3*, обладающего дырочной проводимостью. На поверхность селена нанесен тонкий полупрозрачный слой золота *4*. В результате специальной обработки часть атомов золота проникла в селен и образовала в нем тонкий слой с электронной проводимостью. На границе двух слоев с раз-

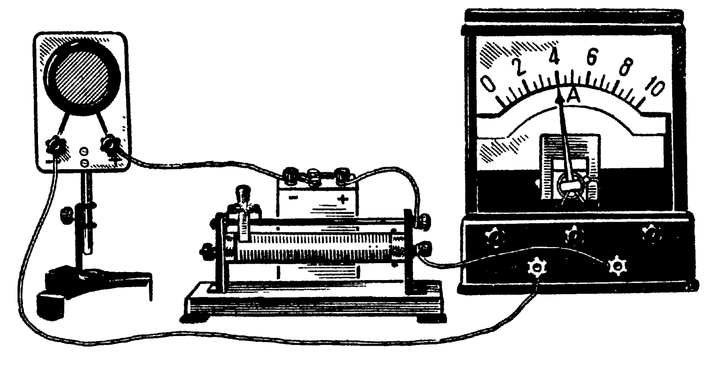


Рис. 3-118. Установка демонстрации электронно-дырочного перехода у полупроводникового фотоэлемента.

личными видами проводимости образовался электронно-дырочный переход.

От железной пластинки и пленки золота (на нее положено контактное кольцо *1*) сделаны отводы к металлическим зажимам *6*. Фотоэлемент укреплен в круглом пластмассовом корпусе *5*.

Объясняя устройство полупроводникового фотоэлемента, следует подчеркнуть его принципиальное сходство с устройством полупроводникового диода: и тот и другой прибор имеют электронно-дырочный переход. Для обнаружения этого перехода вначале собирают цепь демонстрационного омметра, который применялся раньше в опытах с диодом (см. рис. 3-104). Затем в цепь омметра включают затемненный (его закрывают от света) фотоэлемент: один раз — при одной полярности, второй раз — при обратной (рис. 3-118).

По хорошо заметному изменению тока в цепи делают заключение об односторонней проводимости фотоэлемента, т. е. о наличии у него электронно-дырочного перехода.

После этого демонстрируют действие фотоэлемента. Собирают установку по рисунку 3-119 и при дневном освещении обнаружи-

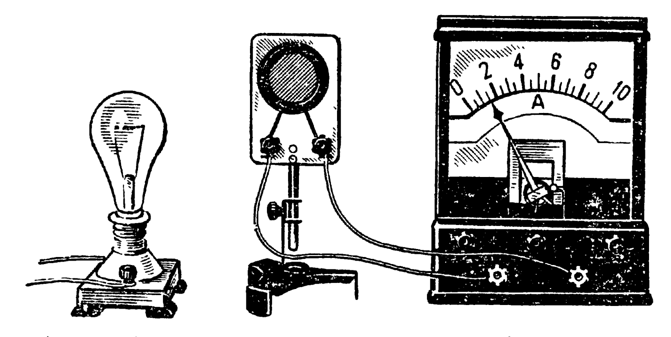


Рис. 3-119. Действие полупроводникового фотоэлемента.

гают по гальванометру появление слабого тока в цепи. Затем фотоэлемент освещают электрической лампой. Наблюдают, как по мере приближения лампы к фотоэлементу ток в цепи увеличивается и стрелка гальванометра отклоняется на всю шкалу. При затемнении фотоэлемента ток почти прекращается. Таким образом убеждаются, что полупроводниковый фотоэлемент представляет собой источник тока, в котором энергия света преобразуется непосредственно в электрическую.

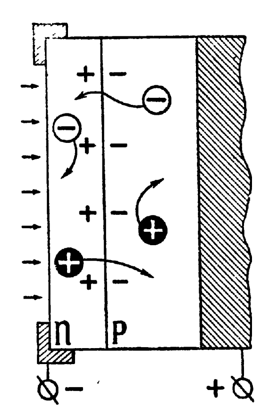


Рис. 3-120. Схема действия полупроводникового фотоэлемента.

Процесс возникновения фотоэлектродвижущей силы объясняют по схеме (рис. 3-120), представленной на учебной таблице «Фотоэлемент». Под действием света в электронном полупроводнике происходит интенсивное образование свободных носителей заряда, т. е.электронов и дырок, которые, участвуя в тепловом движении, перемещаются в различных направлениях, в том числе и по направлению к электронно-дырочному переходу.

Здесь под действием электрического поля электронно-дырочного перехода происходит разделение диффундирующих к нему зарядов. Дырки, образующиеся в электронном полупроводнике, переходят через запирающий слой в дырочный полупроводник и скапливаются в нем, электроны же остаются в электронном полупроводнике и заряжают его отрицательно.

Таким образом, образовавшиеся под действием света пары разделяются: электроны накапливаются в электронном полупроводнике, а дырки — в дырочном.

Одновременно под действием электрического поля электронно-дырочного перехода из дырочного полупроводника в электронный движутся электроны. В результате наступает динамическое равновесие между потоком дырок и электронов. В этот момент между электродами устанавливается некоторая разность потенциалов, которая и представляет собой фотоэлектродвижущую силу фотоэлемента.

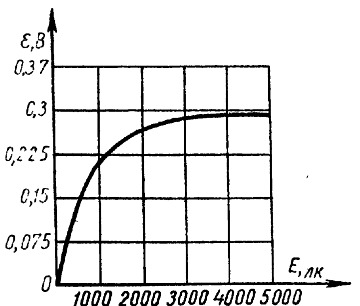


Рис. 3-121. Зависимость ЭДС селенового фотоэлемента от освещенности.

Величина фотоэлектродвижущей силы никогда не может быть больше разности потенциалов электрического поля электронно-дырочного перехода. Поэтому при увеличении освещенности фотоэлемента его ЭДС

вначале возрастает, а затем достигает состояния насыщения. График этой зависимости показан на рисунке 3-121.

Далее показывают работу фотоэлемента в фотодиодном режиме с помощью установки, показанной на рисунке 3-118.

В цепь демонстрационного омметра включают затемненный селеновый фотоэлемент так, чтобы на его электронно-дырочный переход было подано обратное напряжение (не более 0,2 В). Демонстрационный гальванометр обнаруживает слабый ток, обусловленный движением через электронно-дырочный переход неосновных носителей заряда. Затем освещают фотоэлемент и наблюдают резкое возрастание тока. Величина тока зависит от интенсивности освещения.

Возрастание тока в цепи объясняют явлением фотопроводимости, т. е. увеличением концентрации электронов и дырок. При затемнении фотоэлемента ток в цепи почти прекращается: все образовавшиеся дополнительные носители заряда рекомбинируются. Фотоэлемент, работающий в таком режиме, называют фотодиодом. Как показывает опыт, чувствительность фотодиода очень высока. Она значительно больше, чем у фотоэлемента.

Следует обратить внимание на то, что фотоэлемент, работающий в фотодиодном режиме, не является уже генератором тока, а ведет себя подобно фоторезистору, но в сравнении с ним обладает значительно большей чувствительностью к свету. Чувствительность фотодиода, как и фоторезистора, зависит от величины приложенного напряжения.

ОПЫТ 164. ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ ПЕРЕХОДЫ ТРАНЗИСТОРА

Оборудование: 1) транзистор П14 на подставке; 2) гальванометр демонстрационный от амперметра, 3) батарея аккумуляторов, 4) реостат на 3000 Ом, 0,3 А, 5) провода соединительные, 6) учебная таблица «Транзистор».

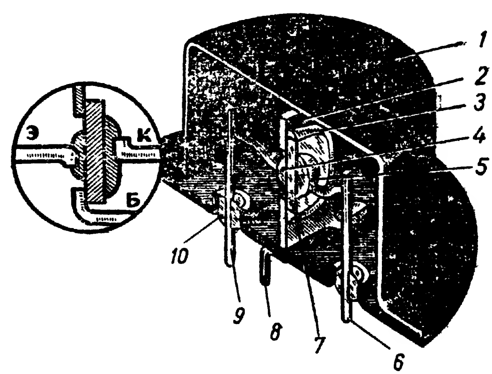


Рис. 3-122. Устройство транзистора П14.

Устройство транзистора изучается по учебной таблице «Транзистор», где прибор показан в разрезе, а основные детали изображены дополнительно крупным планом (рис. 3-122).

Транзистор состоит из тонкой монокристаллической пластинки электронного германия *7*, в которую с противоположных сторон вплавлены две капли индия *4* и *5* (пластинка герма-

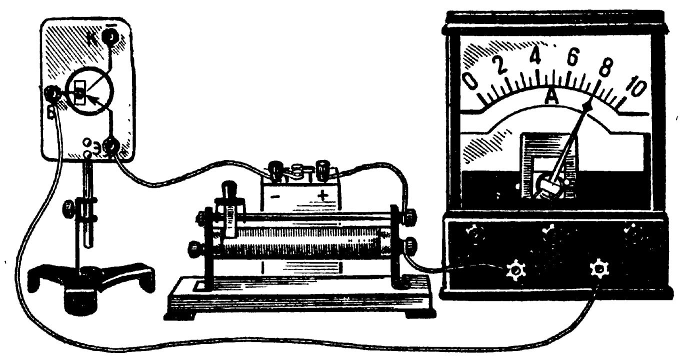


Рис. 3-123. Демонстрация электронно-дырочных переходов транзистора.

ния с двумя каплями индия изображена дополнительно крупным планом).

Атомы индия проникли в электронный германий и изменили вид его проводимости. В пластинке возникли три резко разграниченные области с чередующейся проводимостью: две крайние области (эмиттер и коллектор) имеют дырочную проводимость, а средняя (база) — электронную проводимость. На границе этих областей образовались два электронно-дырочных перехода: эмиттерный и коллекторный. Каждый переход в отдельности ведет себя как обычный полупроводниковый диод.

Пластинка германия припаяна оловом *3* к кристаллодержателю *2*. Вся конструкция заключена в металлический корпус *1*. От каждой области германиевой пластинки сделаны выводы. Выводы от эмиттера *9* и коллектора *6* проходят в стеклянных изоляторах *10*, а вывод от базы *8* приварен к корпусу транзистора. Последний вывод соединяется с областью базы через кристаллодержатель, приваренный к корпусу транзистора.

Таким образом, транзистор состоит из трех слоев полупроводников, обладающих различным видом проводимости, причем два слоя с одинаковой проводимостью всегда разделяются слоем с другим видом проводимости.

Учащимся сообщают, что в зависимости от чередования слоев, транзисторы разделяются на два вида: *р-п-р* и *п-р-п*.

Далее показывают наличие в транзисторе типа *р-п-р* двух электронно-дырочных переходов с помощью демонстрационного омметра, собранного по указанной ранее схеме (см. рис. 3-104). Общий вид установки представлен на рисунке 3-123.

Вначале в цепь демонстрационного омметра включают эмиттерный переход. Положительный полюс источника тока омметра соединяют с эмиттером, а отрицательный — с базой (рис. 3-124, *а*). Стрелка гальванометра отклоняется почти на полную шкалу. Это указывает на малую величину сопротивления перехода.

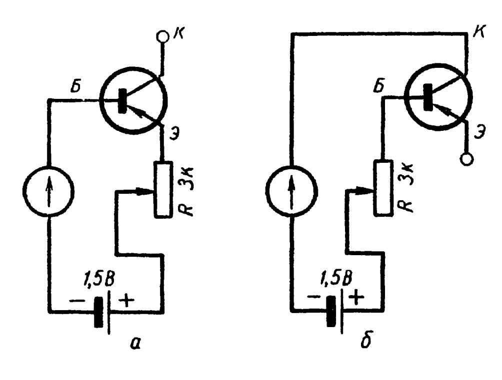


Рис. 3-124. Схема включения переходов транзистора в цепь демонстрационного омметра:

а — эмиттерного; *б* — коллекторного

Затем полярность включения перехода изменяют на обратную. Гальванометр не обнаруживает тока в цепи, что указывает на одностороннюю электропроводность перехода. При этом важно обратить внимание учащихся на полярность напряжения.

Далее в цепь омметра включают коллекторный переход транзистора (рис. 3-124, *б*) и, меняя полярность включения, обнаруживают одностороннюю электропроводность коллекторного перехода.

Когда базу транзистора соединяют с отрицательным полюсом источника омметра, а коллектор — с положительным, то коллекторный переход включается в пропускном направлении. При обратной полярности напряжения переход включается в запирающем направлении.

Показанный опыт позволяет сделать вывод о наличии у транзистора двух электронно-дырочных переходов. Для обоих переходов транзистора типа *p-n-p* пропускным направлением является такое, при котором к базе подключен отрицательный полюс источника тока, а к эмиттеру и коллектору — положительный. Транзистор представляет собой как бы два диода, имеющих одну общую область.

В этих выводах следует предостеречь учащихся от ошибки представлять себе транзистор как простую совокупность двух обычных полупроводниковых диодов, включенных последовательно. Дело в том, что у транзистора ток коллекторного перехода находится в прямой зависимости от величины тока, протекающего через эмиттерный переход. У двух же отдельных диодов при любой схеме их соединения ток в каждом из них зависит только от величины и полярности приложенного к нему напряжения.

ОПЫТ 165. УСИЛЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА ТРАНЗИСТОРОМ

Оборудование: 1) транзистор П14 на подставке, 2) фотоэлемент селеновый СФ-10 на подставке, 3) батарея аккумуляторов, 4) лампа электрическая на подставке, 5) гальванометры демонстрационные от амперметра — 2 шт., 6) провода соединительные, 7) учебная таблица «Транзистор».

Собирают установку по рисунку 3-125. Транзистор включают в цепь по схеме с общим эмиттером. При таком способе включения получают большое усиление по току, а схема является аналогом схемы с электронной лампой.

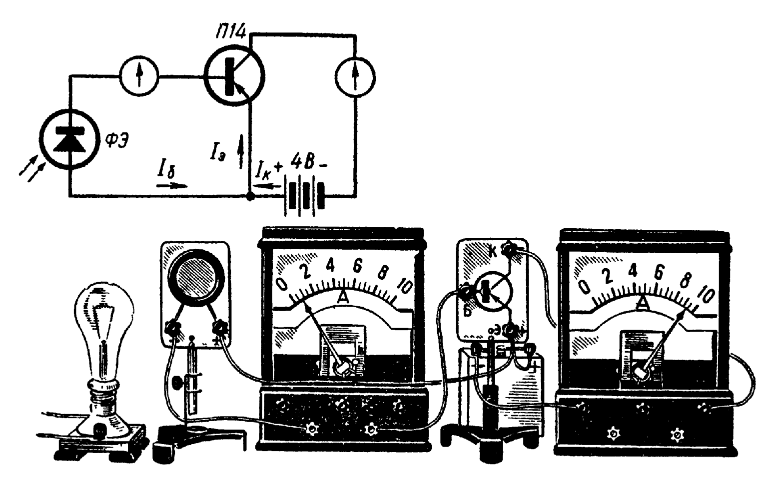


Рис. 3-125. Установка включения транзистора для демонстрации его усилительных свойств.

Усиливаемый ток берут от полупроводникового фотоэлемента. Его включают между эмиттером и базой транзистора: положительный полюс соединяют с эмиттером, а отрицательный — через демонстрационный гальванометр с базой транзистора. При этом эмиттерный переход включается в пропускном направлении, и потому он оказывает небольшое сопротивление току фотоэлемента.

Обратное напряжение на коллекторный переход транзистора в схеме с общим эмиттером подается через эмиттерный переход. Поэтому положительный полюс источника тока соединяют с эмиттером, а отрицательный подключают через второй демонстрационный гальванометр к коллектору транзистора.

Сопротивление коллекторного перехода в режиме обратного тока в тысячи раз больше сопротивления эмиттерного перехода, включенного в пропускном направлении. Поэтому все приложенное напряжение падает практически на высокоомный коллекторный переход транзистора.

Закончив сборку цепи, зажигают электрическую лампу и постепенно приближают ее к фотоэлементу. При едва заметных отклонениях стрелки первого гальванометра наблюдают отклонения стрелки второго гальванометра почти на всю шкалу.

Таким образом, опыт показывает, что коллекторный ток транзистора управляется током базы и находится в прямой зависимости от его величины. Изменение тока в цепи коллектора в десятки раз превышает изменение тока в цепи базы.

Учащимся сообщают, что отношение изменения тока коллектора к изменению тока базы при постоянном напряжении на коллекторе представляет собой коэффициент усиления транзистора по току в схеме с общим эмиттером.

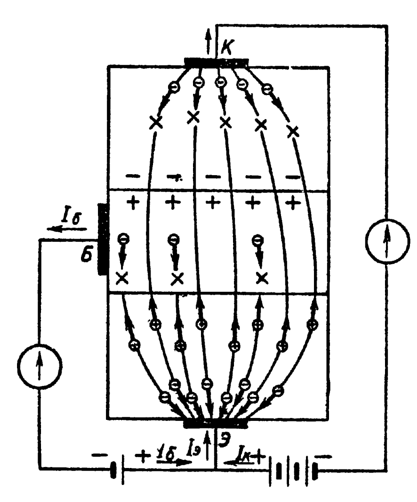


Рис. 3-126. Схема действия транзистора.

Объяснение физических явлений, имеющих место при работе транзистора, дают по рисунку 3-126, изображенному на учебной таблице «Транзистор».

Когда нет входного сигнала (фотоэлемент не освещается), то начальный ток коллектора очень мал. Это объясняется тем, что коллекторный переход транзистора включен в запирающем направлении и его сопротивление велико.

При освещении фотоэлемента на эмиттерный переход подается прямое напряжение и в цепи эмиттер — база возникает электрический ток. Этот ток называют током эмиттера и обозначают $I_э$. Он в основном состоит из дырок (восемь кружочков со знаками плюс и стрелками вверх), переходящих из эмиттера в базу, и небольшого количества электронов (три кружочка со знаками минус и стрелками вниз), движущихся в обратном направлении — из базы в эмиттер. Такое распределение со значительным преобладанием дырок объясняется тем, что эмиттер имеет во много раз большее количество дырок, чем база электронов.

Одновременно с инжекцией дырок в базу во внешнюю цепь из эмиттера уходит соответствующее количество электронов (восемь кружочков со знаком минус и стрелками вниз). Уход электронов приводит к образованию в эмиттере новых дырок и потому количество их не убывает.

Инжектированные в базу дырки движутся далее к коллекторному переходу. Это движение происходит главным образом в результате избытка их около эмиттерного перехода, а также под действием слабого электрического поля между эмиттером и коллектором транзистора.

За время движения в области базы (тысячные доли секунды) часть дырок успевает рекомбинироваться с электронами базы (рекомбинация показана тремя крестиками). Частичная убыль электронов в базе пополняется притоком их из внешней цепи, т. е. со стороны фотоэлемента, что создает ток, который называют током базы и обозначают $I_б$. Благодаря малой толщине базы (меньше длины диффузионного смещения носителей заряда) и небольшой концентрации в ней свободных электронов, бо́льшая часть дырок доходит до коллекторного перехода и под действием электрического поля этого перехода втягивается в область коллектора. Здесь дырки рекомбинируются со свободными электронами, приходящими из

внешней цепи (рекомбинация показана пятью крестиками). Движение этих электронов есть ток коллектора $I_к$.

Таким образом, если вначале сопротивление коллекторного перехода, включенного в запирающем направлении, было велико, то, после того как в зону этого перехода проникли дырки, сопротивление перехода резко уменьшается. Это и приводит к увеличению тока в цепи коллектора.

Величина тока коллектора, как это следует из объяснения действия транзистора, немного меньше тока эмиттера за счет рекомбинации части дырок с электронами базы, но в то же время ток коллектора значительно больше тока базы. Эти токи связаны между собой следующей зависимостью:

$$I_э = I_б + I_к.$$

После объяснения принципа действия транзистора обращают внимание учащихся на два графика, изображенные на учебной таблице (рис. 3-127).

Графики показывают, что ток коллектора при постоянном значении тока базы (0,05 и 0,1 мА) практически перестает зависеть от напряжения на коллекторе, начиная с напряжения 0,5 — 1 В. В связи с этим отмечают, что транзистор может работать при весьма низком напряжении питания (не превышающем 1 В).

Пользуясь выходными характеристиками транзистора, можно ознакомить учащихся с графическим методом определения коэффициента усиления по току, когда транзистор включен по схеме с общим эмиттером. При заданном напряжении на коллекторе по графикам определяют значения коллекторных токов при двух значениях тока базы, а затем по отношению разности значений токов коллектора к разности значений токов базы получают коэффициент усиления по току.

На указанной выше таблице приведены еще два графика (рис. 3-128), на которые также следует обратить внимание. Эти графики

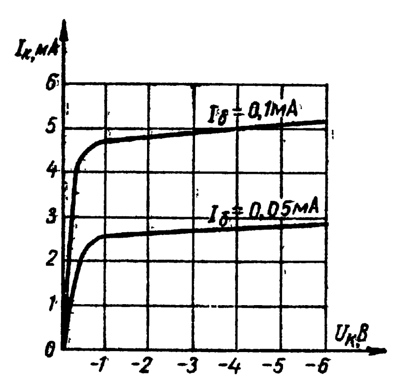


Рис. 3-127. Выходные характеристики транзистора П14.

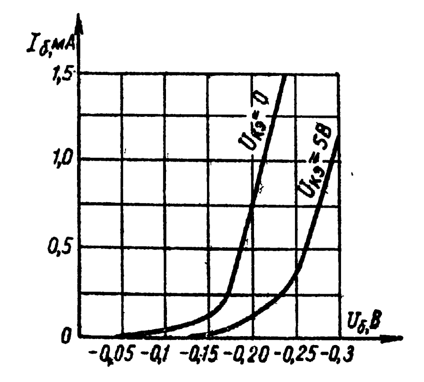


Рис. 3-128. Входные характеристики транзистора П14.

выражают зависимость тока базы от напряжения на базе при различных напряжениях на коллекторе (0 и 5 В) и показывают, что ток базы при малых напряжениях теряет линейную зависимость. Это позволяет сделать важный практический вывод: для получения неискаженного усиления на базу транзистора необходимо подавать постоянное напряжение смещения порядка 0,15—0,25 В. Дополнительное смещение увеличивает коэффициент усиления транзистора.

В заключение отмечают достоинства транзисторов: высокий коэффициент полезного действия (до 50%, в то время как у вакуумных ламп он меньше 1%), низкие напряжения питания, отсутствие накальных цепей, малые размеры, большая механическая прочность, надежность в работе, большой срок службы.

§ 7. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТОКА

ОПЫТ 166. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТОКОВ

Оборудование: 1) ленты из фольги с наконечниками — 2 шт., 2) моток проволочный на подставке, 3) рамка от прибора «Виток в магнитном поле», 4) штатив универсальный, 5) провода соединительные, 6) штепсельная розетка с вилкой или двухполюсный переключатель демонстрационный.

Взаимодействие токов целесообразно показать на двух опытах. Сначала это явление надо представить в наиболее «чистом» виде, т. е. показать притяжение и отталкивание двух прямых проводников с токами одинакового и противоположного направлений. Затем можно перейти к показу взаимодействия катушек.

1. В первом опыте для получения надлежащего эффекта необходимы гибкие и легкие проводники, которые вместе с тем должны выдерживать достаточно сильный ток. В противоречивости этих требований и заключается некоторая трудность проведения опыта.

Хорошие результаты можно получить, если воспользоваться лентами из алюминиевой фольги, идущей на изготовление бумажных конденсаторов (например, КБГ). Фольгу от рулона, вынутого из коробочки конденсатора, обычно развертывают вместе с приставшей к ней бумагой. Надо, не отслаивая бумаги, отрезать от фольги две узкие ленты шириной 10 мм и длиной 50 см. Слой бумаги между двумя полосками из фольги придаст ленте большую прочность.

Концы каждой ленты заделывают в наконечники (рис. 3-129), при помощи которых обе ленты зажимают в изолирующих стержнях на универсальном штативе, как показано на рисунке 3-130. Такая лента выдерживает кратковременный ток до 8 А.

Ленты не следует натягивать. Слегка изгибая, их сближают на расстояние 0,5—1 см и концы присоединяют к выпрямителю через штепсельную розетку, как показано на рисунке. Вместо штепселя можно воспользоваться двухполюсным переключателем. При включении тока в пределах 5—8 А ленты отталкиваются, а при выключе-

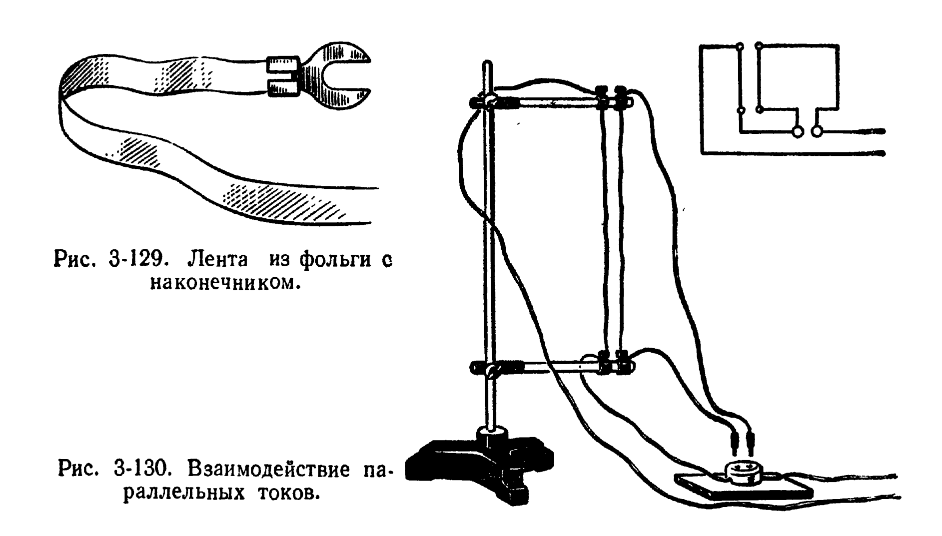


Рис. 3-129. Лента из фольги с наконечником.

Рис. 3-130. Взаимодействие параллельных токов.

нии вновь сближаются. Чтобы изменить направление тока в одном из проводников, достаточно штеккеры в розетке поменять местами. Теперь токи в проводниках будут иметь одинаковые направления и проводники притянутся друг к другу.

При проведении опыта не следует включать ток на длительное время. Для улучшения видимости можно воспользоваться теневой проекцией.

Иногда в этом опыте ленты соединяют сначала последовательно, а затем параллельно. Этот способ имеет тот недостаток, что при переключении с параллельного соединения на последовательное сила тока в каждом проводнике увеличивается вдвое. В установке, представленной на рисунке 3-130, соединение проводников в любом случае остается последовательным и сила тока при переключении не изменяется.

Учитывая, что описанный опыт требует тщательной подготовки, а изготовленные надлежащим образом проводники трудно сохранять в целости, можно рекомендовать для этого опыта специальный самодельный прибор для проецирования на экран. Устройство прибора и все необходимые размеры показаны на рисунке 3-131. Прибор состоит из двух вертикальных планок из органического стекла, между которыми параллельно расположены почти без натяжения две ленты из алюминиевой фольги. Прибор устанавливают на рейтере проекционного аппарата у самого конденсора и передвижением объектива добиваются получения на экране изображения лент. Прибор подключают к источнику постоянного тока: заметное притяжение и отталкивание получается при токе 1—2 А.

2. Рамку от прибора «Виток в магнитном поле» подвешивают на изолирующем стержне посредством специального гибкого шнура и рядом с ней устанавливают проволочный моток на подставке.

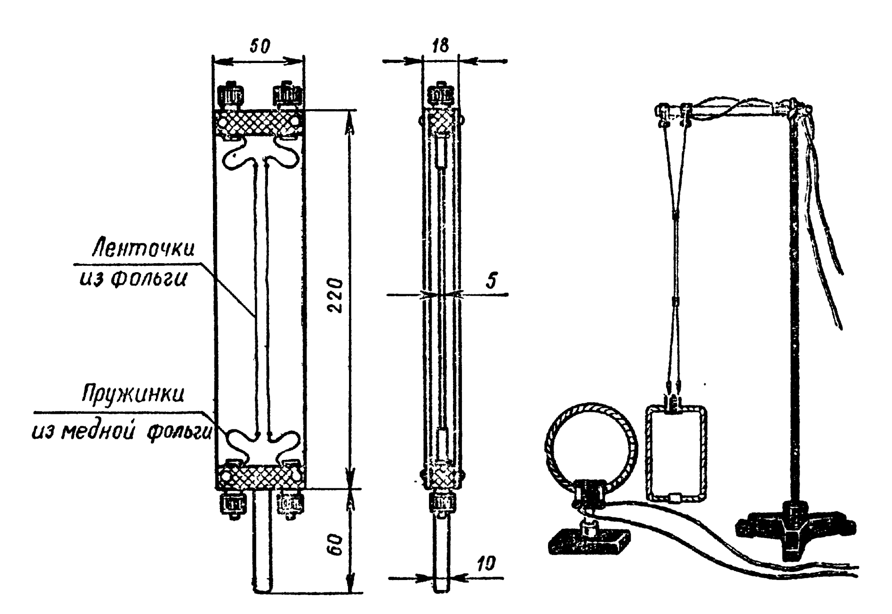


Рис. 3-131. Устройство прибора для демонстрации взаимодействия параллельных токов.

Рис. 3-132. Взаимодействие двух круговых токов.

Рамку и моток сначала помещают рядом в одной плоскости, как показано на рисунке 3-132, и подключают к источнику тока.

Определив направление тока в мотке и рамке, включают на короткое время ток и показывают притяжение или отталкивание рамки в зависимости от направления тока. Чтобы изменить характер взаимодействия, поворачивают моток на 180°.

Затем устанавливают моток против рамки так, чтобы их плоскости были параллельны, включают ток и показывают, что провода с одинаково направленными токами притягиваются, а с противоположно направленными — отталкиваются. При достаточно сильном токе рамка, оттолкнувшись, переворачивается и притягивается вплотную к мотку.

Приборы присоединяют к источнику тока по схеме, показанной на рисунке 3-130. Ток в каждом из них при кратковременном включении не должен превышать 4 А.

ОПЫТ 167. НАБЛЮДЕНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ОПИЛОК В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ТОКА

Оборудование: 1) приборы для проецирования спектров магнитного поля тока, 2) коробочка-сито с железными опилками, 3) проекционный аппарат, 4) батарея аккумуляторов 3НКН-10, 5) провода соединительные, 6) лист бумаги.

Приступая в старших классах к углубленному изучению магнитного поля тока, следует напомнить учащимся о расположении

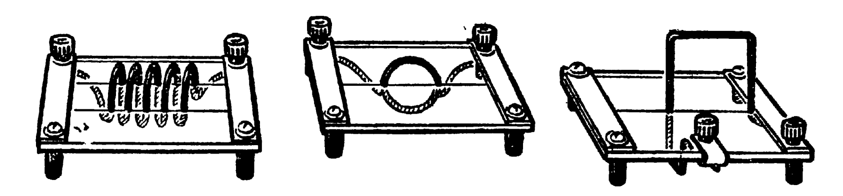


Рис. 3-133. Модели для демонстрации спектров магнитного поля.

линий индукции магнитного поля тока в зависимости от формы проводника.

Для этого наиболее подходящим является метод проецирования, обеспечивающий быстроту подготовки опыта и наилучшую видимость. Здесь можно воспользоваться приборами, представляющими собой квадратные панели из органического стекла с проволочными контурами для получения магнитного поля вокруг прямого провода, в проволочном витке и соленоиде (рис. 3-133).

Для изготовления каждого из контуров служит большой проволочный моток из 16 витков эмалированного провода диаметром 0,5 мм. Из этого мотка свернуты контуры в виде кольца, соленоида или прямого провода, расположенного перпендикулярно плоскости панели, а концы мотка присоединены к установленным на панели зажимам. Каждый такой прибор требует источника постоянного тока с ЭДС приблизительно 4 В. При этом сила тока в проводе достигает двух ампер, что при 16 витках по магнитному действию эквивалентно 32 А. Это обеспечивает получение отчетливой картины магнитного спектра.

Один из таких приборов устанавливают на оправу конденсора проекционного аппарата, настроенного для горизонтального проецирования, и равномерно посыпают небольшим количеством мелких железных опилок. Затем зеркалом или призмой направляют изображение прибора на экран и передвижением объектива получают необходимую резкость изображения опилок.

Присоединив к зажимам прибора провода от источника, включают ток. Под действием магнитного поля часть опилок, преодолевая трение, располагается вдоль линий магнитной индукции и образует наглядную картину поля. Если при этом слегка постучать по панели концом карандаша, то опилки встряхиваются и картина становится более отчетливой. Не сле-

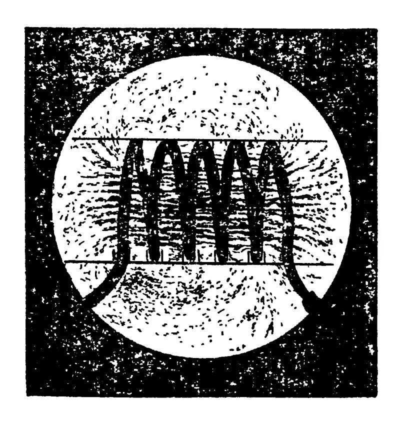


Рис. 3-134. Спектр магнитного поля соленоида.

дует стучать слишком сильно и долго: это приведет к сползанию опилок и искажению изображения. Изображение, полученное на экране, показано на рисунке 3-134.

По окончании демонстрации прибор снимают и опилки ссыпают сначала на лист бумаги, а затем в коробочку.

Можно в описанном выше опыте воспользоваться и более простыми приборами с контурами из толстого одинарного провода (диаметром около 3 мм). Для такого прибора потребуется источник, способный дать ток около 30 А. Таким источником тока может служить аккумулятор достаточно большой емкости или универсальный трансформатор с катушкой для электросварки. В последнем случае такая же отчетливая картина будет получена с помощью переменного тока.

ОПЫТ 168. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТОК (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЗАДАЧА)

Оборудование: 1) весы чувствительные неравноплечие, 2) амперметр демонстрационный, 3) метр демонстрационный, 4) магниты дугообразные — 2 шт., 5) скоба проволочная, 6) выключатель демонстрационный, 7) штатив универсальный, 8) провода соединительные, 9) циркуль-измеритель демонстрационный.

Данную экспериментальную задачу решают после введения понятия индукции магнитного поля и изучения закона Ампера о действии магнитного поля на участок провода с током.

Задача состоит в том, чтобы по силе, действующей на прямолинейный участок провода с током, определить числовое значение вектора индукции магнитного поля между полюсами дугообразного магнита. Решение этой задачи даст учащимся конкретное представление о единице магнитной индукции — тесла.

Демонстрационная установка для проведения опыта изображена на рисунке 3-135. В ней основной деталью служит скоба из голой медной проволоки, помещенная между полюсами двух магнитов.

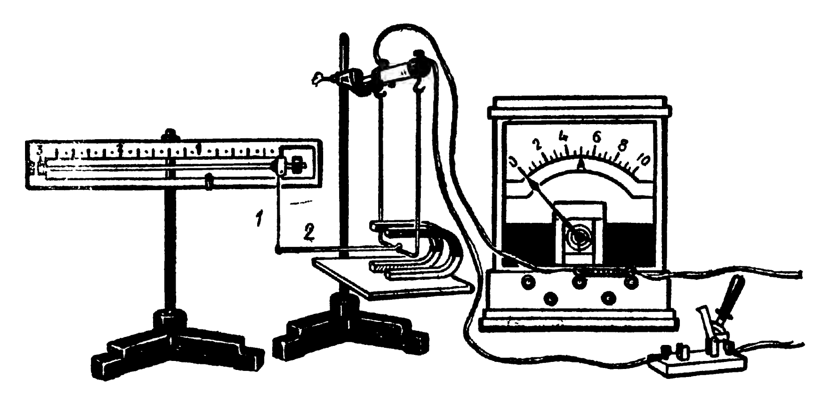


Рис. 3-135. Установка для демонстрации действия магнитного поля на ток.

Форма скобы, ее размеры и способ подвеса показаны на рисунке 3-136. Колечки с крючками, прилагаемые к универсальному штативу, изолированы от металлического стержня листом обыкновенной бумаги. Этого вполне достаточно, так как подводимое напряжение мало. Между бумагой и колечками зажаты концы соединительных проводов.

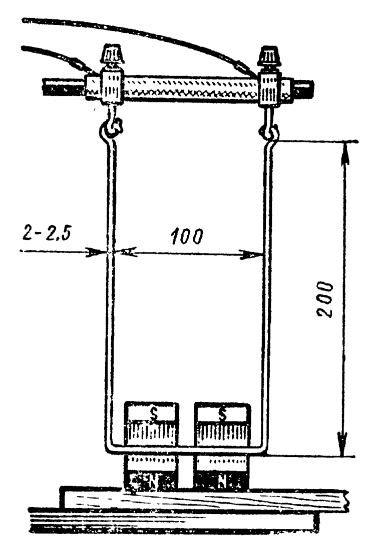


Рис. 3-136. Детали установки.

Для измерения силы, действующей на проводник с током, служат универсальные чувствительные весы. При подготовке их к измерению в отверстие втулки весов вставляют стержень *1* (рис. 3-135) с малым диском из аэродинамического набора и изготовляют рейтер массой 510 мг в виде согнутой металлической полоски. Вес такого рейтера будет приблизительно равен 0,005 Н. Толкателем *2*, соединяющим весы со скобой, служит мягкая тонкая проволока, один конец которой огибают вокруг стержня над самым диском, а другой конец, согнутый в виде крючка, свободно накладывают на середину скобы между магнитами.

При определении цены деления весов надо применить правило моментов. Если длина стержня 10 см, а рейтер весом 0,005 Н находится, например, на расстоянии 20 см от оси, то

$$F \cdot 10 \text{ см} = 0{,}005 \text{ Н} \cdot 20 \text{ см}.$$

Отсюда сила F равна 0,01 Н, когда рейтер находится на расстоянии 20 см от оси; значит, перемещение рейтера на 1 см соответствует изменению силы F на $\frac{0{,}01 \text{ Н}}{20} = 0{,}0005 \text{ Н}$.

Для измерения силы тока служит демонстрационный амперметр с шунтом на 10 А и соответствующей шкалой для постоянного тока.

От весов отцепляют толкатель и снимают с рычага рейтер. При помощи уравнительного винта добиваются совпадения указателей.

Постоянный ток можно получить от выпрямителя.

Сначала устанавливают рукоятку регулятора напряжения на нуль, затем включают ток, доводя его до 8 А, и наблюдают за движением скобы. Изменяя направление тока или переворачивая магниты, показывают изменение направления движения проводника. Эти опыты дают повод вспомнить правило левой руки, связывающее направления тока, силовых линий поля и движения проводника.

Выключив ток, при котором наблюдалось выталкивание скобы влево, соединяют скобу с вертикальным стержнем весов при помощи проволочного толкателя, как было указано выше, и передвигают

весы по столу так, чтобы указатели равновесия вновь совпали. На этом заканчивается подготовка установки.

Включают ток и замечают, что рычаг весов приподнимается. Насадив на рычаг рейтер и передвигая его вдоль рычага, находят для него такое положение, при котором весы вновь уравновешиваются. Зная цену деления шкалы, находят силу, с которой магнитное поле действует на проводник с током.

Опыт повторяют при иных значениях силы тока. Затем удаляют один из магнитов и тем уменьшают почти вдвое длину той части проводника, которая находится в магнитном поле. Снова измеряют величину выталкивающей силы. Длину проводника определяют циркулем-измерителем и демонстрационным метром.

На доске записывают результаты опытов:

Длина проводника l, см	Сила тока I, А	Выталкивающая сила F, Н
10	8	0,009
10	4	0,0045
10	2	0,0022
5	8	0,0045

Подставив числа, полученные в каждом из опытов в формулу

$$B = \frac{F}{Il},$$

определяют приблизительно искомое значение вектора магнитной индукции, например:

$$|B| = \frac{0{,}009\ \text{Н}}{8\ \text{А}\cdot 0{,}1\ \text{м}} \approx 0{,}01\ \text{Тл}.$$

ОПЫТ 169. ВРАЩЕНИЕ ПРОВОДНИКА С ТОКОМ ВОКРУГ МАГНИТА

Оборудование: 1) магниты линейные с кольцом и обоймой, 2) стержень с контактным диском, 3) магнит дугообразный, 4) провода соединительные, 5) штатив универсальный.

Изучая действие магнитного поля на проводник с током, полезно показать возможность непрерывного вращения проводника без каких-либо переключающих устройств. Такой опыт впервые осуществил М. Фарадей. Для получения подвижного контакта он пользовался ртутью. Поскольку в школьных опытах ртуть не применяется, опишем здесь аналогичный опыт в оригинальной постановке московского учителя физики М. Е. Островского.

Установка для проведения опыта (рис. 3-137) представляет собой два или один прямой вертикально установленный магнит с надетым на него медным кольцом и подвешенный на штативе медный проволочный стержень с небольшим диском, припаянным к его

нижнему концу. Стержень подвешен точно над магнитом и касается диском кольца. Подвес осуществлен следующим способом. К верхнему концу стержня припаян небольшой наконечник из мягкой стали, заточенный сверху на конус. Этим наконечником стержень приставляется снизу к торцу сильного постоянного магнита, зажатого в лапке штатива. Такой способ подвеса обеспечивает возможность вращения стержня вокруг своей оси с очень малым трением.

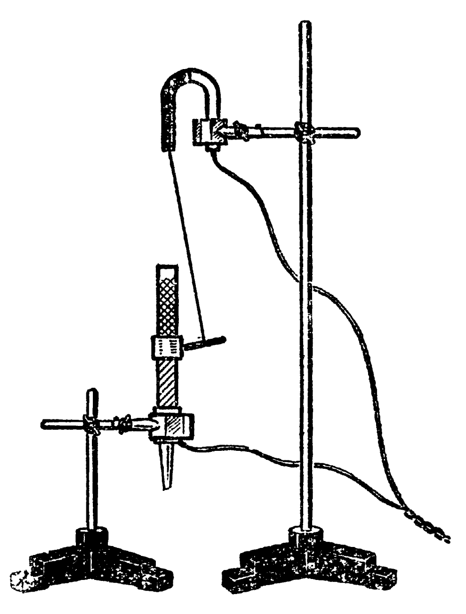


Рис. 3-137. Демонстрация вращения проводника с током вокруг магнита.

Для проведения опыта один из подводящих ток проводов присоединяют к обойме, в которой закреплен магнит, а другой зажимают между лапкой штатива и магнитом, к которому подвешен стержень. В этом месте магнит надо зачистить. Надо хорошо почистить и торец этого магнита, чтобы улучшить контакт с наконечником.

Постоянный ток в 5—6 А пропускают через магнитный подвес, проволочный стержень и подвижный контакт стержня с кольцом (см. рис. 3-137). При этом стержень приходит в движение и непрерывно вращается вокруг магнита. Диск катится по поверхности кольца с очень малым трением и имеет с ним достаточно хороший контакт.

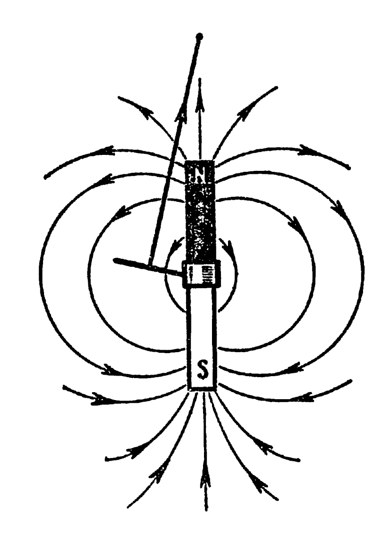


Рис. 3-138. Примерное расположение полюсов магнита и направление тока в стержне.

На рисунке 3-138 показано примерное расположение полюсов магнита и направление тока в стержне. Применив правило левой руки, легко определить направление вращения

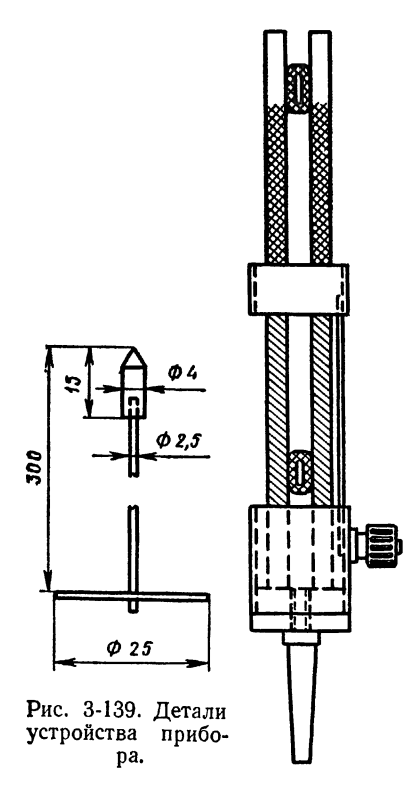


Рис. 3-139. Детали устройства прибора.

(против часовой стрелки, если смотреть сверху).

Детали устройства прибора и их приблизительные размеры показаны на рисунке 3-139. Кольцо и обойму делают из медной, латунной или дюралевой трубы, подобрав ее диаметр соответственно размерам имеющихся полосовых магнитов. Разброс в размерах возможен довольно большой, так как плотная посадка магнитов в кольце и обойме осуществляется с помощью двух-трех отрезков упругой резиновой трубки, зажатых между магнитами.

К отрезку трубы, которая должна служить обоймой, надо выточить металлическое донышко. В центре его следует просверлить отверстие и нарезать в нем резьбу под конический стержень от дисковой сирены (этот стержень ввертывают в обойму при проведении опыта 172 п. 2). На обойме надо поставить зажим и соединить его проводничком с кольцом.

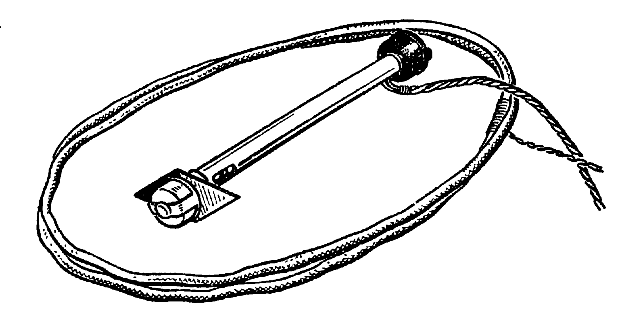
ОПЫТ 170. ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТОКА

Оборудование: 1) гальванометр демонстрационный от амперметра, 2) усилитель к гальванометру, 3) магнитный зонд, 4) звуковой генератор, 5) виток проволочный, 6) соленоид проволочный, 7) провода соединительные, 8) штатив универсальный, 9) основание диполя, 10) аккумуляторная батарея 3НКН-10 или батарея КБС-0,5, 11) циркуль-измеритель демонстрационный.

Исследование магнитного поля удобнее всего проводить при помощи специального магнитного зонда или индикатора индукции магнитного поля. Известно довольно много конструкций магнитных индикаторов. Из них заслуживают внимания два индикатора, принципиально отличающиеся друг от друга. Простейший из них представляет собой миниатюрную проволочную рамку с сердечником или без него с коллектором, в которой возбуждается ЭДС при ее вращении в исследуемом магнитном поле. Действие другого основано на изменении магнитной проницаемости ферромагнетика при периодическом изменении напряженности намагничивающего поля.

Ниже приведено описание устройства подобных индикаторов, рассчитанных на изготовление их в школе.

Рис. 3-140. Индикатор магнитного поля с вращающимся якорем.



1. В индикаторе магнитного поля, изображенном на рисунке 3-140, использованы два микроэлектродвигателя, выпускаемые для приведения в действие детских технических моделей[1]. Головка зонда представляет собой извлеченный из корпуса микроэлектродвигателя якорь с коллектором, заключенный в защитный прозрачный корпус цилиндрической формы. На торце головки краской показана прямая, вдоль которой должен быть направлен вектор магнитной индукции, чтобы ЭДС, возникающая в обмотке якоря при его вращении, достигла максимальной величины.

В рукоятке прибора помещают микроэлектродвигатель («лодочный мотор»), соединенный своим длинным валом с валом якоря. Соединительный шнур прибора состоит из двух пар проводов. Одна пара присоединяется к источнику постоянного тока напряжением 4 В, а другая — к демонстрационному гальванометру от вольтметра. При внесении головки зонда в магнитное поле и надлежащей ее ориентации стрелка гальванометра отклоняется. По расположению указателя на головке зонда и по показаниям гальванометра можно судить о величине и направлении вектора магнитной индукции в той небольшой области поля, где находится головка зонда.

2. На рисунке 3-141 схематически показано устройство другого зонда. Его сердечник состоит из 15 слоев пермалоевой ленты шириной

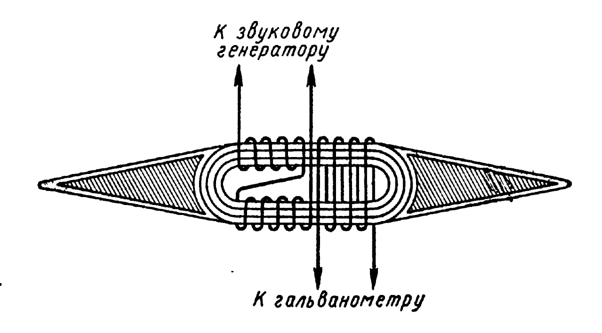


Рис. 3-141. Схема устройства магнитного зонда.

[1] Данная конструкция зонда разработана А. Г. Восканяном.

9 мм и толщиной 0,1 мм. Сердечник зонда пропущен через два одинаковых каркаса с намотанным на них проводом ПЭЛ диаметром 0,15 мм. Обмотки имеют по 100 витков и соединены последовательно так, что могут создавать замкнутый внутри сердечника магнитный поток. Поверх этих обмоток наматывают еще 600 витков провода ПЭЛ диаметром 0,06 мм.

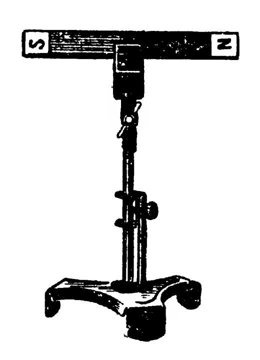
Если через внутреннюю обмотку прибора пропустить переменный ток, то во внешней обмотке ЭДС не возникает, так как суммарный магнитный поток, охватываемый наружной обмоткой, в любой момент равен нулю.

При появлении постоянного внешнего магнитного поля, направленного вдоль оси наружной обмотки, в последней возникает ЭДС индукции. Дело в том, что из-за нелинейности кривой намагничивания магнитная проницаемость сердечника, обтекаемого переменным током, изменяется. Соответственно изменяется и магнитная индукция поля, создаваемого в сердечнике внешним постоянным магнитным полем. Таким образом, магнитные потоки, создаваемые в ветвях сердечника двумя внутренними обмотками, изменяются неодинаково и результирующий магнитный поток, охватываемый наружной обмоткой, уже не равен нулю; его изменение вызывает в наружной обмотке появление ЭДС, пропорциональной продольной составляющей напряженности внешнего магнитного поля. Эту ЭДС регистрирует гальванометр, по показаниям которого можно судить о величине вектора индукции исследуемого поля. Направление вектора индукции этим зондом определить нельзя; можно только утверждать, что он направлен вдоль оси прибора, если стрелка гальванометра дает максимальное отклонение.

Зонд укреплен на длинной деревянной ручке, в которой заложены две пары проводов. Его питание осуществляется от звукового генератора током частоты 1000—2000 Гц, и только в очень сильных полях его можно питать током промышленной частоты. Концы наружной обмотки присоединяют к демонстрационному гальванометру (к зажимам для переменного тока) непосредственно или через усилитель. Для увеличения чувствительности зонда последнему витку ленты сердечника придают форму вытянутой петли длиной 55 мм, внутрь которой вставляют два деревянных клина.

В опыте, описание которого приведено ниже, и во всех последующих применяют последний из двух описанных зондов. Однако в каждом из этих опытов можно применить любой из них. При помощи зонда рекомендуется провести сравнительное определение индукции магнитного поля в следующих случаях: 1) вокруг длинного прямого провода с током на различных расстояниях от провода; 2) в различных точках вокруг проволочного витка; 3) в различных точках внутри соленоида. В последнем опыте вскрывается зависимость величины индукции магнитного поля внутри соленоида от числа витков, приходящихся на единицу его длины.

1) Перед проведением первого исследования необходимо сначала ознакомить учащихся с действием магнитного зонда. Для этого



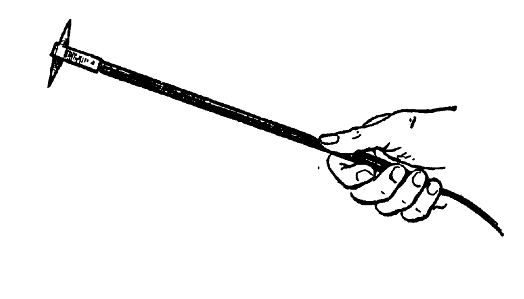


Рис. 3-142. Демонстрация действия магнитного зонда.

включают звуковой генератор и присоединяют к его выходным зажимам провода от внутренней обмотки зонда. Вторую пару проводов зонда присоединяют к гальванометру со шкалой на 10 делений, используя зажимы для переменного тока. Корректором устанавливают стрелку на нуль и подносят зонд к стоящему на столе постоянному магниту. Когда лампы генератора разогреются, зонд начинает слабо звучать и стрелка гальванометра отклоняется. Поворачивая лимб генератора и изменяя частоту колебаний, добиваются наибольшего отклонения стрелки гальванометра. После этого помещают зонд в каком-либо другом месте вблизи магнита (рис. 3-142) и поворачивают его. Учащиеся замечают, что наибольшее отклонение стрелки наблюдается, когда зонд расположен вдоль линий индукции. Если зонд расположить перпендикулярно к линиям, стрелка стоит на нуле. Известно, что при удалении от магнита индукция магнитного поля убывает. Соответственно уменьшаются и показания гальванометра.

Этих предварительных опытов достаточно, чтобы начать пользоваться магнитным зондом для исследования магнитных полей. Знакомить учащихся с устройством и принципом действия зонда пока преждевременно и для этого нет необходимости.

Приступая к проведению исследования, зонд закрепляют в поворотном приспособлении универсального штатива (рис. 3-143) и придвигают к нему вертикальный провод, натянутый между муфтами изолирующих стержней, на расстояние около 7 см. Учитывая, что магнитное поле вокруг одиночного провода с током будет во много раз слабее поля постоянного магнита, зонд присоединяют к гальванометру через усилитель. При этом гальванометр сильно отклоняется, хотя ток в проводе еще отсутствует. Это показывает, что чувствительность зонда сильно возросла и он реагирует на магнитное поле Земли, различных намагниченных предметов, находящихся поблизости и, особенно, на магнитное поле магнита, находящегося в гальванометре. Поворотом ручки усилителя приводят стрелку гальванометра к нулю и тем самым компенсируют действие на зонд всех посторонних полей.

Затем включают в провод ток и, следя за показаниями гальванометра, усиливают его, пока стрелка гальванометра не отклонится

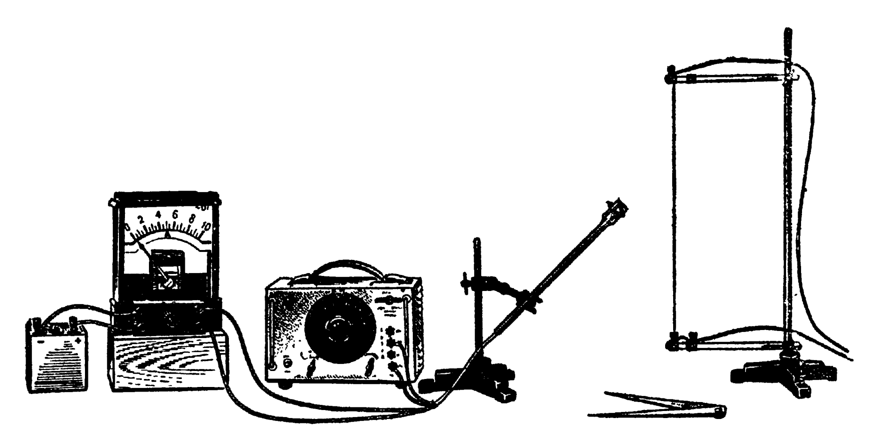


Рис. 3-143. Измерение индукции магнитного поля прямого тока.

на 6 дел. (для этого понадобится ток в проводе около 8 А). Расстояние от зонда до провода фиксируют демонстрационным циркулем-измерителем и отодвигают провод (не зонд!), пока показание гальванометра не уменьшится вдвое (3 дел.). Приставляя циркуль, показывают, что расстояние увеличилось также вдвое. Далее отодвигают провод, пока показание гальванометра не уменьшится в 3 раза (2 дел.), и показывают, что расстояние увеличилось во столько же раз. Таким образом, учащиеся убеждаются, что магнитная индукция в поле длинного прямого проводника с током обратно пропорциональна расстоянию от проводника.

Затем уменьшают расстояние до прежней величины и уменьшают силу тока в проводе, при этом во столько же раз уменьшаются и показания гальванометра. Как видно, результаты опыта согласуются с формулой:

$$B = \mu \frac{I}{2\pi r}.$$

2) Заменив в установке предыдущего опыта прямой провод проволочным витком диаметром 220 мм, свернутым из медной или алюминиевой проволоки толщиной 1,2—2 мм, устанавливают виток так, чтобы зонд оказался расположенным в цент-

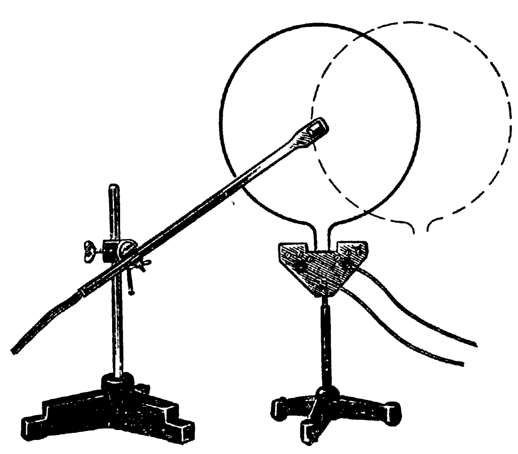


Рис. 3-144. Измерение индукции магнитного поля кругового тока.

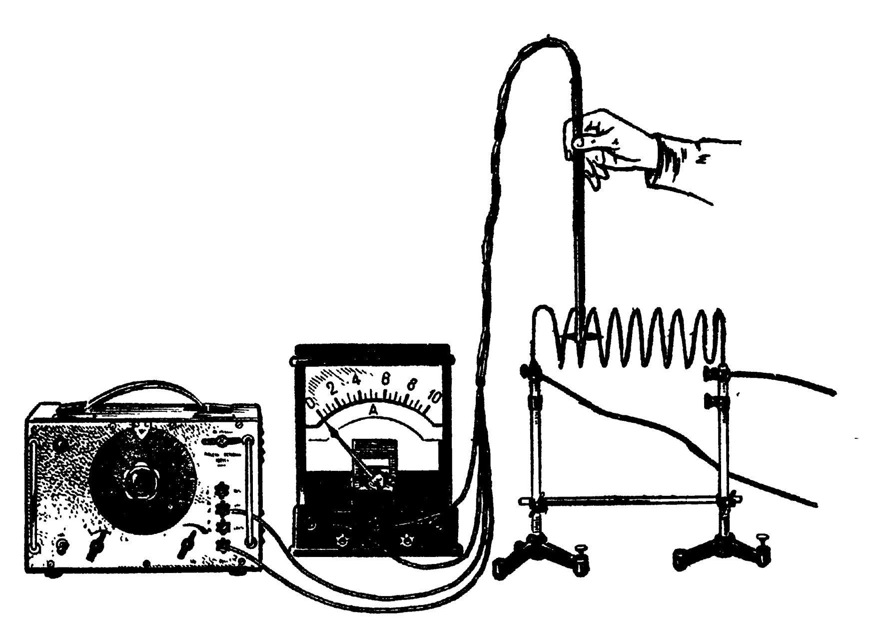


Рис. 3-145. Измерение индукции магнитного поля соленоида.

ре витка вдоль его оси (рис. 3-144). Включая ток, находят, что стрелка гальванометра отклонилась на 6 дел. Затем двигают виток, приближая зонд к проводу витка (рис. 3-144, пунктир), и устанавливают, что магнитная индукция в плоскости витка имеет наименьшую величину в центре.

Двигая виток так, чтобы зонд перемещался относительно витка вдоль оси, показывают, что магнитная индукция с удалением от центра витка вдоль оси в обе стороны уменьшается.

3) Для дальнейшего исследования магнитного поля применяют соленоид из 10 витков диаметром 7 см, свернутый из латунной или достаточно упругой медной проволоки толщиной 1,5—2 мм. Намотав проволоку виток к витку на какой-либо цилиндр несколько меньшего диаметра, ей сначала дают развернуться, затем растягивают до 10 см и, отрезав лишнюю, загибают ее концы так, чтобы было удобно вставить их в отверстия изолирующих штативов (рис. 3-145). Штативы соединяют внизу коротким стержнем. Этот стержень, лежащий свободно в муфтах, удерживает изолирующие штативы в нужном направлении.

В связи с тем что магнитное поле соленоида значительно сильнее, чем поле прямого и кругового токов, в этом опыте чувствительность зонда надо уменьшить. Для этого усилитель отключают и присоединяют провода от зонда непосредственно к зажимам для переменного тока гальванометра.

Раздвигают штативы на расстояние 20 см, включают ток около 5 А и зондируют магнитное поле вокруг соленоида. Затем вводят

зонд внутрь и перемещают его перпендикулярно оси соленоида. После этого вводят зонд в промежутки между витками (в разных местах). Такое зондирование позволяет установить, что во всем внутреннем объеме соленоида индукция одинакова и поле можно считать однородным, у концов же соленоида индукция вдвое меньше, чем внутри.

Если, удерживая зонд внутри соленоида, сблизить штативы и уменьшить длину соленоида вдвое, то по показаниям гальванометра учащиеся находят, что и индукция в соленоиде увеличивается вдвое. Из этого заключают, что магнитная индукция внутри соленоида пропорциональна числу витков, приходящихся на единицу его длины. Это соответствует формуле

$$B = \mu I \frac{n}{l}.$$

§ 8. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

ОПЫТ 171. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Оборудование: 1) гальванометр от демонстрационного вольтметра, 2) амперметр демонстрационный, 3) магнит дугообразный, 4) магнит прямой, 5) трансформатор универсальный, 6) реостат на 50 Ом, 7) выключатель демонстрационный, 8) штатив универсальный, 9) батарея аккумуляторов, 10) провода соединительные, 11) ящик-подставка.

Изучение электромагнитной индукции следует начать с вводных опытов. С одной стороны, они должны напомнить учащимся различные случаи электромагнитной индукции, с которыми они ознакомились на первой ступени обучения, а с другой — послужить достаточным основанием для понимания основного закона электромагнитной индукции и введения правила Ленца. Эти опыты удобно демонстрировать на немногих постепенно перестраивающихся установках.

Перед демонстрацией опытов необходимо провести некоторую подготовку. Сначала надо показать, в каком направлении отклоняется стрелка гальванометра, когда его левый зажим присоединен к минусу источника тока, а правый — к плюсу. Для этого можно присоединить проводником минус аккумулятора к левому зажиму гальванометра и, взявшись одной рукой за положительный зажим аккумулятора, коснуться пальцем другой руки правого зажима гальванометра. Результат можно зафиксировать на доске, например, так, как показано на рисунке 3-146. Далее следует обозначить на катушках мелом (или другим способом), с какой стороны провод обмотки подведен к зажимам катушки.

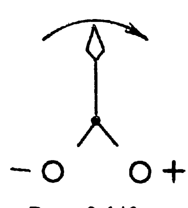


Рис. 3-146.

1. К зажимам демонстрационного гальванометра с малым сопротивлением присоединяют длинный отрезок гибкого изолированного провода (рис. 3-147) и двигают его вниз и вверх между ветвями дугообразного магнита.

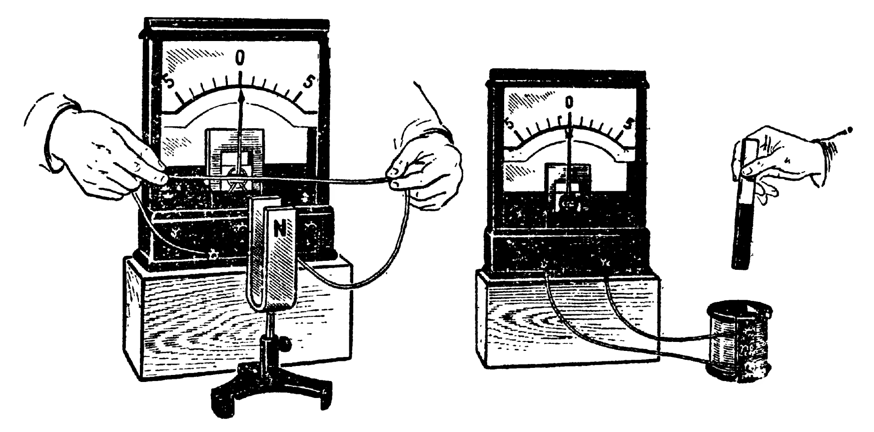


Рис. 3-147. Индукция тока при движении проводника в магнитном поле.

Рис. 3-148. Индукция тока в катушке.

По слабому, но заметному отклонению стрелки гальванометра обнаруживают возникновение индукционного тока в замкнутой цепи и определяют его направление[1]. Затем, основываясь на полученных результатах, устанавливают правило правой руки.

Обращают внимание, что в данной установке некоторая часть магнитного потока постоянного магнита охвачена замкнутым контуром, состоящим из провода и гальванометра. Эта часть потока увеличивается при опускании провода и уменьшается, когда провод поднимают вверх.

2. Провод сворачивают в петлю и, то надевая петлю на полюс магнита, то поднимая ее, замечают, что стрелка гальванометра отклоняется сильнее. Повторяют опыт, постепенно увеличивая число витков.

3. К гальванометру присоединяют катушку на 220 В от универсального трансформатора и возбуждают в ней индукционный ток движением прямого магнита (рис. 3-148). Показывают, что при медленном движении магнита отклонение стрелки незначительно, а при быстром — стрелка отклоняется сильнее. Складывают вместе одноименными полюсами два магнита и получают при прежней скорости их движения более сильный индукционный ток. Определяют направление магнитного поля индукционного тока в катушке и сравнивают его с направлением поля магнита, когда последний вводят и удаляют из катушки. Результат такого исследования приводят к установлению правила Ленца. Последние два опыта могут также служить основанием для введения формулы

$$E = -n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

[1] Эффект опыта можно значительно усилить, если воспользоваться более чувствительным проекционным гальванометром, показанным на рис. 2-2.

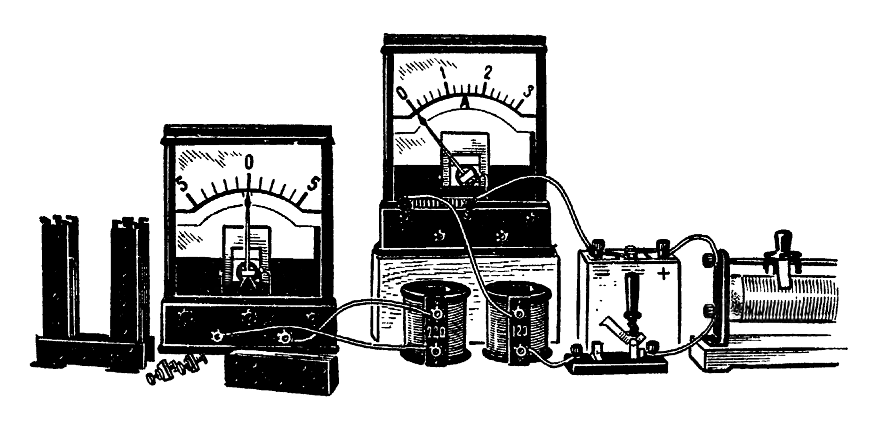


Рис. 3-149. Установка для демонстрации электромагнитной индукции.

4 Собирают установку, изображенную на рисунке 3-149. Катушки на 220 и 120 В ставят рядом (без сердечника) и с помощью реостата доводят ток в правой катушке приблизительно до 2 А. Включая и выключая ток, наблюдают возникновение в левой катушке кратковременного слабого индукционного тока. В этих опытах определяют направление токов и магнитных полей, согласовывая результаты исследования с правилом Ленца.

5. Выключают ток. Увеличивают сопротивление реостата до 50 Ом, насаживают катушки на сердечник и замыкают его ярмом. При включении и выключении тока стрелка гальванометра отклоняется почти на всю шкалу.

6. Включают ток. Медленно и по возможности равномерно увеличивают его до 2 А. В течение этого времени гальванометр показывает наличие более или менее постоянного индукционного тока. Затем так же уменьшают ток до минимума и наблюдают индукционный ток противоположного направления.

ОПЫТ 172. ПОЛУЧЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ИНДУКЦИОННОГО ТОКА

Оборудование: 1) гальванометр от демонстрационного вольтметра, 2) магнит дугообразный, 3) магниты линейные с кольцом и обоймой, 4) стержень проволочный, 5) сирена дисковая, 6) машина центробежная, 7) штатив универсальный, 8) провода соединительные.

Полезно продемонстрировать особые случаи получения длительного постоянного индукционного тока в движущихся проводниках.

1. Одну из моделей такого генератора легко собрать по рисунку 3-150. Металлический диск (сирена Оппельта), приводимый во вращение центробежной машиной, охвачен полюсами дугообразного магнита. Свободные электроны в диске, двигаясь вместе с ним перпендикулярно вектору индукции магнитного поля, испытывают действие силы Лоренца и отклоняются по радиусу диска. В ре-

зультате между осью и периферией диска создается разность потенциалов. Если к гайке, закрепляющей магнит на стержне, прикрепить плоскую контактную пружину так, чтобы она скользила по ободу диска, и соединить ее через гальванометр с осью диска, то при равномерном вращении диска гальванометр будет показывать постоянный индукционный ток все время, пока вращается диск.

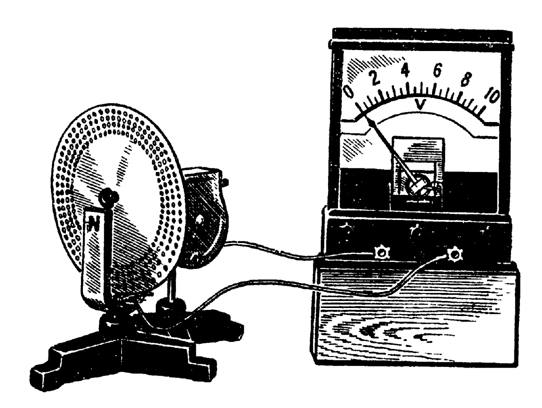


Рис. 3-150. Модель униполярного генератора.

2. Длительный постоянный ток можно получить с помощью магнитов с кольцом, описанных в опыте 169.

Установка для опыта изображена на рисунке 3-151. В этой установке медный стержень, закрепленный горизонтально, слегка прижимается к контактному кольцу магнита. Магнит, установленный вертикально в патроне центробежной машины, вращается вокруг своей оси. При движении стержня в поле магнита в системе отсчета, связанной со стержнем, возникает электрическое поле, приводящее в движение электроны проводимости.

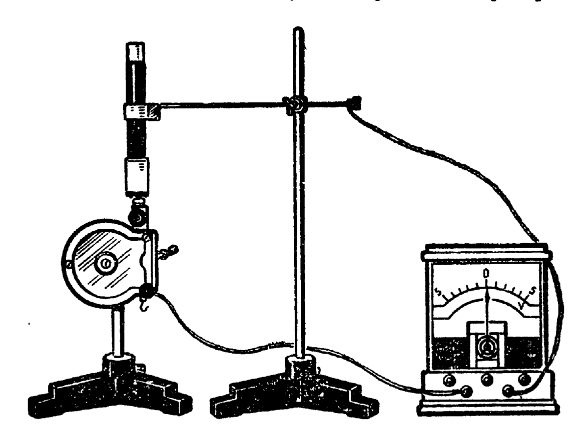


Рис. 3-151. Демонстрация постоянного индукционного тока.

В замкнутой цепи циркулирует постоянный ток, который обнаруживается гальванометром. Чтобы изменить направление тока, достаточно изменить направление вращения. Направление тока определяют по правилу правой руки.

ОПЫТ 173. ПРАВИЛО ЛЕНЦА

Оборудование: 1) прибор для демонстрации правила Ленца, 2) магниты прямые, 3) трансформатор универсальный с дроссельной катушкой, 4) кольцо алюминиевое, 5) машина магнитоэлектрическая, 6) панель с тремя лампами,

7) ключ телеграфный, 8) выключатель демонстрационный, 9) штатив универсальный, 10) груз разборный на 2 кг, 11) струбцинка, 12) провода соединительные, 13) ящик-подставка.

При изучении правила Ленца полезно продемонстрировать 2—3 опыта, в которых изменение магнитного потока внутри замкнутого контура обусловлено в одном случае относительным механическим движением, а в другом — изменением тока в соседнем контуре.

1. Для проведения первого опыта применяют прибор, состоящий из двух колец, скрепленных легкой планкой и уравновешенных на острие. Размеры и вес обоих колец одинаковы, но одно из них разрезано. Установив прибор на подставке, складывают вместе два сильных прямых магнита, обратив их одноименными полюсами в одну сторону, и быстро вводят внутрь целого кольца (рис. 3-152). Наблюдают, что кольцо при этом отталкивается от магнита. Когда магнит из кольца вынимают, последнее двигается вслед за магнитом.

Затем опыт повторяют с разрезанным кольцом и показывают, что при любом движении магнита кольцо остается неподвижным.

Можно по-разному объяснять наблюдаемые результаты, подтверждающие правило Ленца. Например, причиной возникновения индукционного тока в одном случае является приближение магнита к кольцу, а в другом — удаление. Как показывает опыт, магнитное поле индукционного тока противодействует как одному, так и другому движению.

Рис. 3-152. Взаимодействие кольца и магнита.

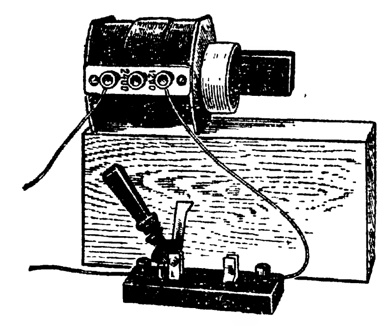


Рис. 3-153 Взаимодействие кольца и катушки.

Необходимо иметь в виду, что эффект опыта зависит от качества магнита. Перед опытом магниты надо сильно намагнитить. Можно воспользоваться дугообразным магнитом. Наилучшие результаты дают магниты из специального сплава. В этом случае при одном только приближении магнита кольцо удаляется от него и тотчас же останавливается, как только остановится магнит. При удалении магнита кольцо движется вслед за ним.

Если пользоваться сильным широким и коротким магнитом (например, кольцевым магнитом, надетым на деревянную ручку), то при введении его внутрь разрезанного кольца оно заметно от-

клоняется. Наблюдаемое движение разрезанного кольца объясняется возникновением в его стенках вихревых токов Фуко. Таких побочных явлений в данном опыте допускать не следует. Чтобы их избежать, лучше всего применять достаточно длинные магниты.

2. Для проведения второго опыта в дроссельную катушку вставляют ярмо от сердечника универсального трансформатора так, чтобы его конец выступал из катушки на 4—5 см (рис. 3-153). Чтобы ярмо при включении тока не втягивалось в катушку, его заклинивают плотно вдвинутой поверх ярма деревянной планкой (можно использовать деревянную линейку). На выступающий конец ярма вплотную к катушке надевают алюминиевое кольцо.

Получив на выпрямителе напряжение 110—120 В, включают ток и наблюдают резкое сдвигание кольца к концу ярма. При выключении тока кольцо возвращается к катушке. Наблюдаемое отталкивание и притяжение кольца объясняется тем, что при включении тока в сердечнике катушки возникает магнитное поле, вследствие чего в кольце возникает индукционный ток. По правилу Ленца магнитное поле возникшего индукционного тока должно быть направлено против нарастающего поля катушки. Следовательно, ток в катушке и индукционный ток в кольце направлены в противоположные стороны. Как было выяснено раньше в опыте, токи противоположного направления отталкиваются, что и наблюдается на опыте при включении тока. Аналогично объясняется и притяжение кольца к катушке при выключении тока.

3. Панель с тремя маловольтными лампами через ключ соединяют с магнитоэлектрической машиной и с помощью струбцинки прижимают основание машины к краю демонстрационного стола. В отверстие струбцинки вставляют два свинченных вместе стержня универсального штатива с блоком у верхнего конца. К шкиву машины прикрепляют прочную нить, перекидывают ее через блок и подвешивают разборный груз

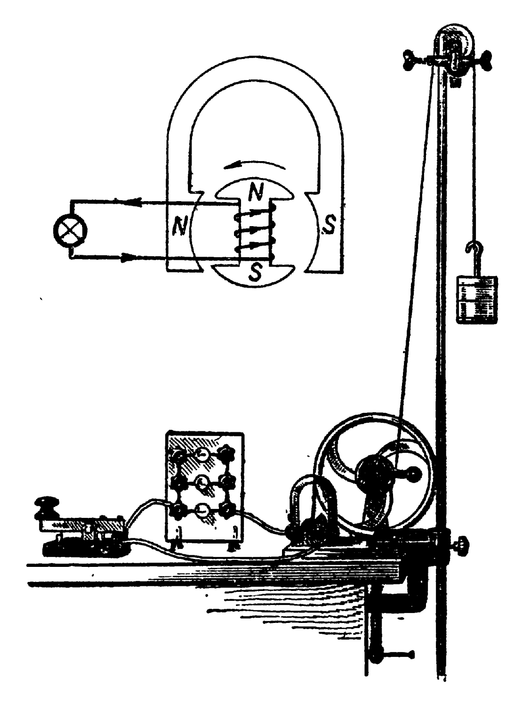


Рис. 3-154. Установка для демонстрации торможения генератора при включении лампочек.

(рис. 3-154). Вращая шкив, наматывают нить, пока груз не достигнет блока, и отпускают шкив. Ротор машины начинает вращаться под действием опускающегося груза, быстро увеличивая скорость. При нажатии на ключ лампочки загораются, а движение груза резко замедляется и продолжается с небольшой скоростью. При отпускании ключа скорость вновь нарастает и вновь происходит торможение при включении тока.

Опыт служит иллюстрацией правила Ленца: в обмотке якоря при замыкании цепи возникает индукционный ток. Магнитное поле индукционного тока направлено так, что при вращении якоря взаимодействие полюсов магнита и якоря вызывает торможение. Объяснение сопровождают рисунком на доске (рис. 3-154 вверху).

Для получения наилучшего эффекта необходимо: 1) уменьшить нажим щеток на кольца в генераторе, 2) смазать подшипники и слегка смазать кольца, 3) по возможности сильнее намагнитить магниты, 4) подобрать на опыте наивыгоднейший груз (около 1300 г) и число включенных ламп. В тщательно подготовленной установке лампы при медленном опускании груза горят хорошо заметным накалом.

ОПЫТ 174. ИНДУКЦИЯ В СПЛОШНЫХ ПРОВОДНИКАХ

Оборудование: 1) трансформатор универсальный, 2) катушка дроссельная, 3) диск для демонстрации вихревых токов, 4) магнит дугообразный, 5) машина центробежная, 6) выключатель демонстрационный, 7) провода соединительные.

1. Из деталей универсального трансформатора и дроссельной катушки собирают электромагнит с полюсными наконечниками, повернутыми плоскими концами друг к другу. Под гайку одного из винтов зажимают стойку с маятником в виде сплошной алюминиевой пластины (рис. 3-155). Положение маятника и полюсных наконечников регулируют так, чтобы зазоры между пластиной и наконечниками были как можно меньше. Катушку через выключатель присоединяют к источнику постоянного тока напряжением 110—120 В.

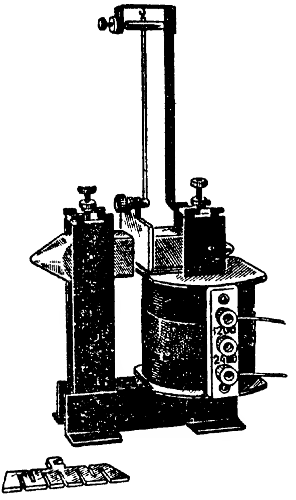


Рис. 3-155. Установка для демонстрации вихревых токов.

Маятник, приведенный в движение, колеблется с ничтожно малым затуханием. При включении тока (около 2 А) наблюдается почти мгновенная остановка маятника.

Заменив в маятнике сплошную пластину другой, равной по размерам, но имеющей прорези, повторяют опыт. При включении тока наблюдается заметное торможение маятника, однако он не сразу останавливается, а совершает несколько затухающих колебаний.

Эффект действия вихревых токов в приборе с дроссельной катушкой при указанном выше напряжении максимальный. При уменьшении тока в катушке до 0,5 А сплошной маятник совершает несколько быстро затухающих колебаний. Опыт можно проводить и с любой из катушек от универсального трансформатора, но для каждой из них должен быть подобран определенный режим.

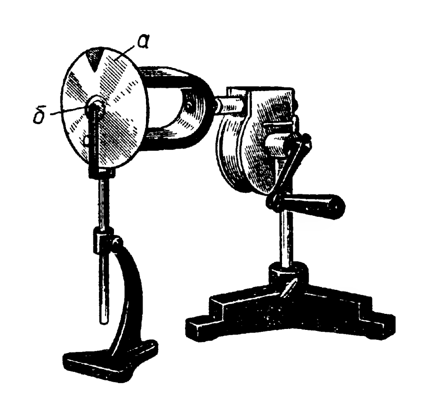


Рис. 3-156. Демонстрация принципа действия тахометра.

2. Специальный прибор для демонстрации вихревых токов (рис. 3-156) представляет собой легкий алюминиевый диск *а*, вращающийся в подшипниках с очень малым трением. На диске закреплена спиральная бронзовая пружина *б*. Внешний свободный ее конец прикреплен к обойме. Для этого на обойме имеется крючок. Чтобы вращение диска было заметно, на диске красной краской с обеих сторон нанесена треугольная метка.

Для демонстрации действия вихревых токов дугообразный магнит закрепляют в шпинделе центробежной машины и к полюсам магнита приставляют диск. Расстояние между диском и полюсами магнита должно быть возможно меньшим. Приводят магнит во вращение и наблюдают, что в ту же сторону начинает вращаться диск.

Чтобы устранить действие внутреннего трения в воздушном промежутке, между диском и магнитом в специальный зажим на обойме диска вставляют листок тонкого картона. Учащиеся убеждаются, что такое экранирование не уменьшает эффекта. Объясняя наблюдаемые явления, надо обратить внимание учащихся, что при любой скорости вращения магнита скорость диска всегда остается меньше скорости магнита, так как для образования вихревых токов, увлекающих диск, необходимо относительное движение магнита и диска.

3. Действие магнитного тахометра и автомобильного спидометра основано на образовании вихревых токов. Диск для демонстрации вихревых токов легко превращается в модель тахометра, если свободный конец пружины, загнутый колечком, насадить на крючок обоймы. Теперь вращение диска ограничено пружиной и диск может совершать только крутильные колебания.

Для демонстрации действия магнитного тахометра диск с закрепленной пружиной приставляют к полюсам магнита, как и в предыдущем опыте. Вращая магнит с небольшой скоростью, следят за положением метки на диске и замечают, что диск повернулся на небольшой угол. При увеличении скорости вращения диск сильнее

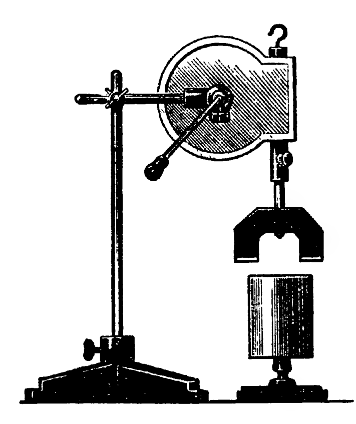


Рис. 3-157. Установка для демонстрации возникновения вихревых токов.

закручивает пружину и поворачивается на больший угол. Таким образом, по углу поворота диска можно судить о скорости вращения магнита. В спидометре автомобиля магнит соединен гибким валом с колесами и увлекает при своем движении алюминиевый цилиндр, соединенный со стрелкой-указателем скорости.

Описанный здесь диск для демонстрации вихревых токов в некоторых опытах может быть заменен алюминиевым стаканом от калориметра. Последний насаживают вверх дном на острие подставки для демонстрационной магнитной стрелки. Стакан должен быть насажен точно по центру, это обычно легко удается после нескольких проб. Над стаканом устанавливают постоянный дугообразный магнит, закрепленный в шпинделе центробежной машины, как показано на рисунке 3-157. При вращении магнита вслед за ним в ту же сторону начинает вращаться стакан.

ОПЫТ 175. САМОИНДУКЦИЯ ПРИ ЗАМЫКАНИИ И РАЗМЫКАНИИ ЦЕПИ

Оборудование: 1) трансформатор универсальный с дроссельной катушкой, 2) реостат на 50 Ом, 3) лампы маловольтные на подставках — 2 шт. 4) лампа неоновая СН-2 на 127 В на подставке, 5) выключатель демонстрационный, 6) провода соединительные, 7) ящики-подставки.

Из многочисленных известных установок для демонстрации явления самоиндукции наиболее целесообразна установка, изображенная на рисунке 3-158. Она проста, наглядна и дает возможность демонстрировать явление самоиндукции как при замыкании, так и при размыкании цепи.

Установка состоит из двух параллельных ветвей с одинаковыми лампами на 3,5 В и 0,28 А. Последовательно с лампой в верхней ветви включена дроссельная катушка из 3600 витков[1] с замкнутым сердечником от универсального трансформатора, а в другой ветви — реостат с сопротивлением не менее 50 Ом. К зажимам катушки присоединена неоновая лампа (например, СН-2 на 127 В). Для питания установки требуется источник постоянного тока напряжением 12—15 В (батарея аккумуляторов или выпрямитель).

1. После сборки установки включают ток и подбирают такое напряжение, чтобы лампа в верхней ветви горела нормальным накалом. Яркость горения нижней лампы регулируют реостатом, до-

[1] При отсутствии дроссельной катушки можно воспользоваться катушкой на 220 В универсального трансформатора — это немного снизит эффект опыта.

биваясь, чтобы обе лампы горели одинаково. Неоновую лампу отключают. На этом заканчивают подготовку установки.

При включении тока лампы загораются не одновременно: нижняя загорается в момент включения, а верхняя — с опозданием на 1 с. Этим опытом показывают, что при замыкании цепи вокруг сердечника индуцируется вихревое электрическое поле, противодействующее нарастанию тока в катушке. Опыт повторяют несколько раз.

Полезно показать, что при следующем друг за другом включении и выключении тока верхняя лампа вовсе не загорается, если частота включения достаточно велика. На этот опыт в дальнейшем можно сослаться при введении понятия об индуктивном сопротивлении.

2. При размыкании тока вокруг сердечника вновь индуцируется вихревое электрическое поле, которое поддерживает исчезающий ток. Однако в момент размыкания основной цепи обе ветви образуют замкнутую цепь, которая мешает резкому прекращению тока в катушке. Поэтому ЭДС индукции в катушке недостаточно велика и обнаружить ее трудно.

Чтобы показать явление самоиндукции при размыкании цепи, надо отключить нижнюю ветвь (вывернуть из патрона лампу) и к катушке присоединить неоновую лампу. Теперь при размыкании цепи резкое прекращение тока в катушке индуцирует настолько сильное вихревое поле, что неоновая лампа ярко вспыхивает, хотя напряжение, необходимое для ее зажигания, намного больше напряжения, подаваемого от источника тока, питающего установку.

Неоновую лампу в описанной выше установке можно заменить лампой накаливания на 2,5 В и 0,068 А, включив ее через диод

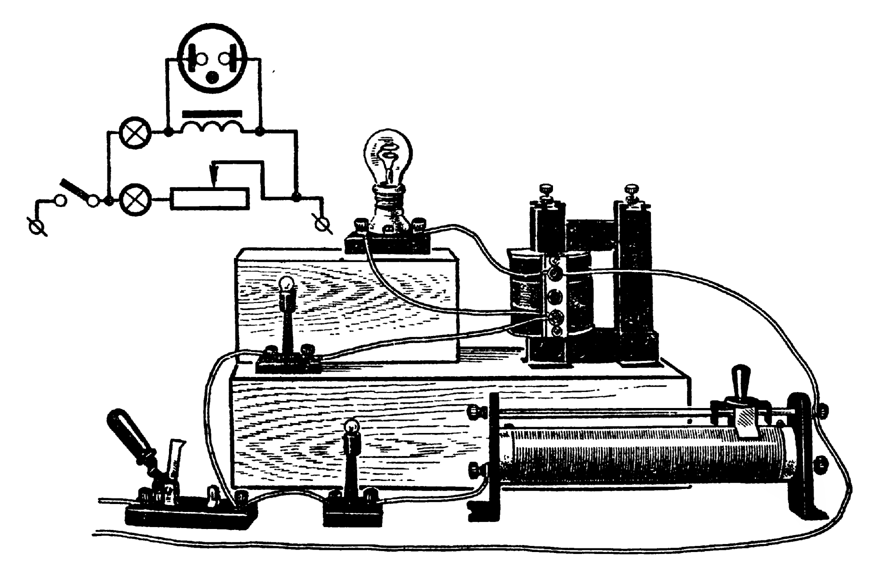


Рис. 3-158. Установка для демонстрации явления самоиндукции.

(из набора полупроводниковых приборов). Диод надо включить так, чтобы при замыкании тока лампа не загоралась. Тогда при включении тока она будет ярко вспыхивать. При налаживании установки надо соблюдать осторожность и начинать с малых напряжений— 4—6 В, постепенно увеличивая до 10—12 В.

ОПЫТ 176. ЗАВИСИМОСТЬ ЭДС САМОИНДУКЦИИ ОТ СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СИЛЫ ТОКА В ПРОВОДНИКЕ И ЕГО ИНДУКТИВНОСТИ

Оборудование: 1) вольтметр демонстрационный, 2) магазин сопротивлений на 100 Ом, 3) выпрямитель ВС 4-12, 4) катушка дроссельная, 5) сердечник от универсального трансформатора, 6) реостат на 100 Ом — 2 шт., 7) выключатель, 8) провода соединительные, 9) подставки.

Для демонстрации зависимости ЭДС самоиндукции от скорости изменения силы тока в проводнике используют установку, собранную по схеме, изображенной на рисунке 3-159. В одно из плеч мостика Уитстона включают дроссельную катушку с незамкнутым сердечником. Когда мост сбалансирован, изменяют силу тока, питающего две параллельные ветви моста. При этом стрелка гальванометра отклоняется, что свидетельствует о нарушении баланса, т. е. о возникновении ЭДС самоиндукции в витках катушки.

Изменение силы тока осуществляют путем плавного передвижения ползуна реостата в цепи источника. При медленном равномерном движении ползуна сначала в одну, а затем в другую сторону стрелка гальванометра одинаково слабо отклоняется также в одну, а затем в другую сторону. При большей скорости движения стрелка отклоняется сильнее. Этим подтверждается зависимость ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке, от скорости изменения силы тока. По направлению отклонения стрелки можно судить о направлении тока самоиндукции и установить, что изменение силы тока и ЭДС самоиндукции имеют противоположные знаки.

Далее показывают, что ЭДС самоиндукции зависит также и от свойств самого проводника. Для этого, не меняя установки, замечают, на сколько отклоняется стрелка гальванометра при быстром движении ползуна реостата, а затем вместо всей катушки включают только треть ее обмотки (1200 витков) и показывают, что при той же скорости движения ползуна величина отклонения стрелки уменьшилась примерно в 3 раза. Если из катушки удалить сердечник, то при повторении опыта отклонение стрелки станет еще меньше.

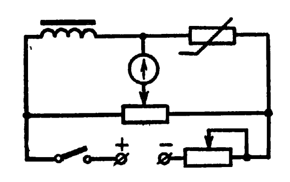
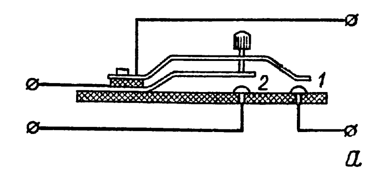


Рис. 3-159. Схема установки к опыту 176.

Эти результаты позволяют ввести понятие об индуктивности проводника и зависимости этой величины от длины обмотки и магнитной проницаемости среды.

В установке, собранной для этого опыта (см. рис. 3-159), перед включением тока переключатель выпрямителя ВС 4-12 устанавливают в положение «4». На магазине сопротивлений устанавливают сопротивле-

ние, приблизительно равное активному сопротивлению всей дроссельной катушки (около 30 Ом). Ползун реостата в нижней ветви передвигают на середину. После этого можно считать, что мостик грубо сбалансирован.



Далее производят точную балансировку. Для этого устанавливают реостат в цепи источника на максимум сопротивления и включают ток. При этом стрелка гальванометра отклоняется (если предварительная балансировка сделана правильно, отклонение не должно быть слишком сильным). Легкими толчками ползуна реостата нижней ветви в ту или другую сторону приводят стрелку гальванометра на нуль. Теперь установка готова для проведения описанных выше опытов.

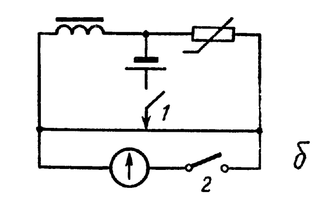


Рис. 3-160. Схема двойного ключа.

Необходимо иметь в виду, что резкое изменение сопротивления одного из плеч мостика может привести к появлению чрезмерно сильного тока в гальванометре и последний может быть выведен из строя. Поэтому перед сборкой установки необходимо тщательно проверить надежность всех контактов, плавность и легкость передвижения ползунов на реостатах. Гальванометр может быть также поврежден при выключении цепи источника, если напряжение источника велико и гальванометр перед этим не был отключен.

Опыты следует начинать, установив переключатель выпрямителя ВС 4-12 в положение «4», и повышать напряжение, только убедившись в необходимости этого.

Демонстрацией описанного опыта следует воспользоваться для подготовки учащихся к одной из работ предстоящего практикума «Измерение сопротивлений мостиком Уитстона». В этой работе приходится принимать меры для устранения влияния ЭДС самоиндукции, возникающей в проводнике, сопротивление которого подлежит измерению. Если проводник обладает значительной индуктивностью, то без таких мер невозможна точная балансировка мостика.

Для устранения вредного влияния самоиндукции применяют двойной ключ, схематически изображенный на рисунке 3-160, *а*. На том же рисунке представлена схема мостика Уитстона, применяемая в практикуме, на которой показано включение двойного ключа (рис. 3-160, *б*).

При нажатии на головку двойного ключа сначала замыкаются контакты *1*, включаемые в цепь источника тока, а вслед за тем — контакты *2* в цепи гальванометра. Короткой паузы между этими моментами достаточно для исчезновения ЭДС самоиндукции, и в момент включения гальванометра равновесие моста не нарушается.

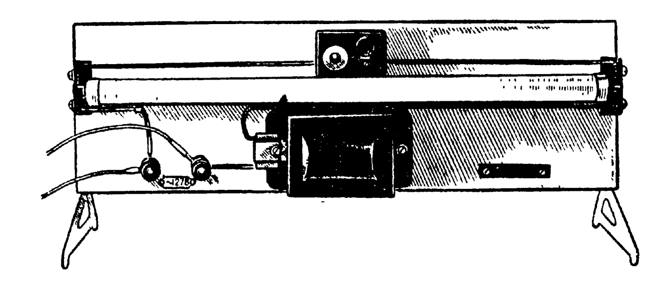


Рис. 3-161. Люминесцентная лампа с дросселем и стартером.

ОПЫТ 177. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САМОИНДУКЦИИ ДЛЯ ЗАЖИГАНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ

Оборудование: 1) люминесцентная лампа на вертикальной панели, 2) провода соединительные.

В современной люминесцентной лампе нашли применение такие явления, как тепловое расширение тел, нагревание проводника током, термоэлектронная эмиссия, самоиндукция, электрический разряд в газах, ультрафиолетовое излучение, люминесценция. Все эти явления изучаются в различных разделах курса в разное время. Наиболее целесообразно впервые прибегнуть к изучению действия люминесцентной лампы при изучении явления самоиндукции. К этому моменту учащиеся оказываются уже подготовленными для того, чтобы понять процесс возникновения газового разряда в лампе. В дальнейшем при изучении явления люминесценции надо вновь вернуться к демонстрации люминесцентной лампы, однако эти опыты будут иметь совсем иной характер и на этом этапе уже нецелесообразно отвлекать внимание учащихся на явления, используемые для зажигания лампы[1].

Для учебных целей люминесцентная лампа смонтирована на вертикальной панели вместе с дросселем и пусковым устройством (рис. 3-161). Лампа представляет собой стеклянную трубку с двумя парами штырьков на концах для подведения тока к электродам-спиралькам из активированной вольфрамовой проволоки. Баллон лампы с нанесенным на ее стенки люминофором содержит пары ртути и аргон при давлении в несколько миллиметров ртутного столба. Для включения в осветительную сеть обе спира-

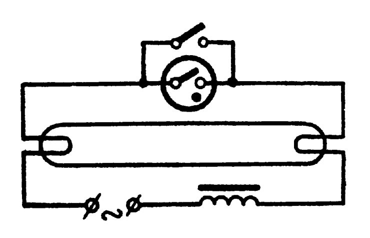


Рис 3-162. Схема включения люминесцентной лампы.

[1] Кроме указанных двух демонстраций, люминесцентную лампу используют в качестве источника прерывистого света при демонстрации стробоскопического метода определения числа оборотов (опыт 10).

ли лампы соединяют последовательно с дросселем и стартером, обеспечивающим автоматическое зажигание лампы. Схема включения показана на рисунке 3-162. Стартер представляет собой маленькую неоновую лампочку (рис. 3-163), заключенную в футляр из пластмассы или металла с небольшим отверстием, через которое можно наблюдать свечение неона. С помощью двух штырьков стартер вставляют в специальный патрон.

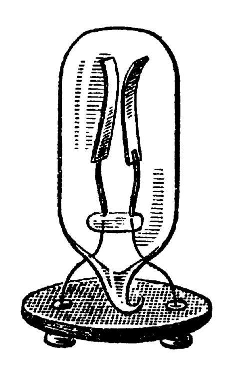


Рис. 3-163. Устройство стартера (снят защитный колпак).

Зажигание лампы происходит следующим образом. При включении в сеть возникает тлеющий разряд между электродами стартера. Вследствие нагревания газовым разрядом электроды, изготовленные из биметаллической пластинки, изгибаются и касаются друг друга, замыкая цепь. Ток быстро накаливает спирали, а в это время биметаллические электроды в стартере успевают остыть и размыкают цепь. При разрыве цепи, благодаря явлению самоиндукции, на концах дросселя появляется значительный импульс напряжения, который и вызывает ударную ионизацию и разряд в лампе. Возникновению разряда способствует эмиссия электронов с нагретых спиралей. В дальнейшем высокая температура спиралей поддерживается током, проходящим через лампу.

Лампа не всегда зажигается с первого импульса. Это объясняется тем, что момент размыкания электродов в стартере не всегда приходится на максимум тока, что было бы наиболее благоприятным случаем. Если размыкание произойдет в момент перемены направления тока, то ЭДС самоиндукции в дросселе будет равна нулю и разряд не возникает. В этом случае стартер будет снова повторять все операции до тех пор, пока в лампе не возникнет разряд. Во время горения лампы дроссель выполняет роль сопротивления, ограничивающего ток в лампе.

В этом опыте главное внимание уделяется явлению самоиндукции. Поэтому перед опытом надо удалить стартер и показать, что для зажигания лампы достаточно замкнуть цепь имеющейся на колодке стартера кнопкой и разомкнуть ее, когда накалятся спирали. При этом лампа вспыхивает. Если лампа не зажигается после первого размыкания кнопки, замыкание и размыкание повторяют, пока лампа не вспыхнет. Объяснив действие дросселя, показывают и объясняют автоматическое зажигание лампы с помощью стартера.

§ 9. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

ОПЫТ 178. ДЕМОНСТРАЦИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВА

Оборудование: 1) образцы на подвесах, 2) трансформатор универсальный, 3) штатив универсальный, 4) проекционный аппарат, 5) провода соединительные.



Рис. 3-164. Образец на подвеске.

Проявление диа-, пара- и ферромагнитных свойств различных веществ демонстрируют, помещая образцы из исследуемых материалов в сильное магнитное поле. Промышленность выпускает набор из трех таких образцов, приготовленных из мягкой стальной проволоки, алюминия и висмута. Образцам придана форма цилиндриков диаметром 3 мм и длиной 15 мм.

К каждому из цилиндриков приклеена тонкая белая нитка длиной 30 см. Другой конец нитки следует приклеить к стержню, который вставляют в отверстие корковой пробки (рис. 3-164).

При подготовке к опыту пробку зажимают в лапке штатива. Перемещая лапку вверх или вниз по штативу, передвигая стержень в пробке в вертикальном направлении и поворачивая его, можно установить образец в нужном положении.

Сердечник универсального трансформатора устанавливают перед конденсором проекционного аппарата. На сердечник насаживают катушку «120» и закрепляют конические полюсные наконечники с промежутком между ними на 2—3 мм больше длины образца. Поместив между полюсами образец, подлежащий исследованию, включают осветитель проектора и получают на экране резкое прямое изображение образца и полюсных наконечников (рис. 3-165). Затем катушку электромагнита присоединяют к источнику постоянного тока, включают ток 5 А (при напряжении приблизительно 30 В) и следят за поведением образца.

Образец из висмута сначала устанавливают, как показано на рисунке. При включении тока образец поворачивается и располагается поперек поля. При выключении тока он возвращается в исходное положение. Магнитная проницаемость висмута сильно отличается от единицы, и поворот образца происходит достаточно энергично.

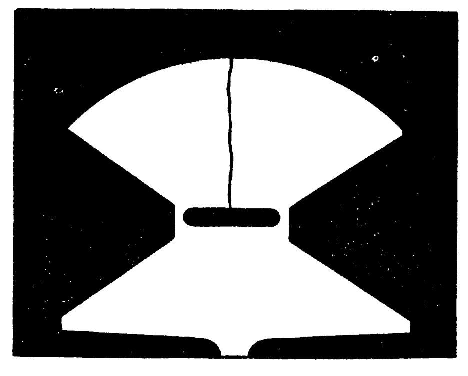


Рис. 3-165. Образец между полюсами электромагнита.

Алюминий парамагнитен, поэтому цилиндрик из алюминия помещают между наконечниками поперек. При включении тока цилиндрик поворачивается и устанавливается вдоль линий поля.

Стальной цилиндрик, помещенный поперек магнитного зазора, при включении то-

ка резко поворачивается и пристает концом к одному из полюсных наконечников.

Во время опытов не следует слишком долго держать катушку электромагнита под током, чтобы она не перегревалась.

Подготовленные для опыта образцы (см. рис. 3-164) хранятся в специальной коробочке с соответствующей надписью.

Следует заметить, что образцы для этого опыта могут быть изготовлены самодельно. Тогда вместо редко встречающегося висмута можно воспользоваться природным графитом[1].

ОПЫТ 179. УСИЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА ВВЕДЕНИЕМ ЖЕЛЕЗА

Оборудование: 1) гальванометр демонстрационный от амперметра, 2) магнитный зонд, 3) звуковой генератор, 4) соленоид проволочный на изолирующих штативах, 5) штатив универсальный, 6) ярмо от универсального трансформатора, 7) провода соединительные, 8) ящик-подставка.

В этом опыте применяют демонстрационную установку для исследования магнитного поля соленоида, описанную ранее в опыте 170. Однако магнитный зонд установлен в ней неподвижно перед соленоидом (зажат в штативе) и расположен вдоль его оси, а изолирующие штативы сдвинуты так, чтобы длина соленоида была минимальна. Вся установка изображена на рисунке 3-166.

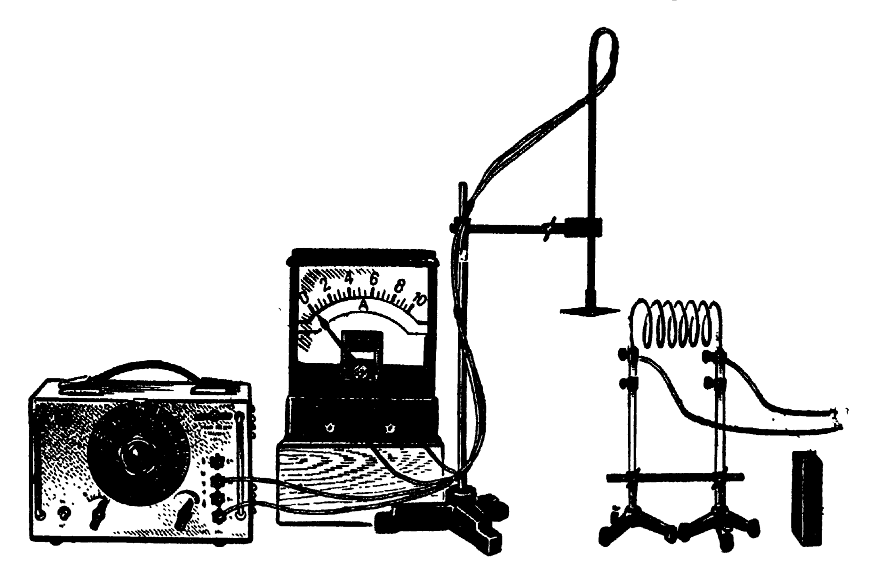


Рис. 3-166. Демонстрация усиления индукции магнитного поля соленоида при помощи железа.

---

[1] Графитовый стержень можно отпилить от кусочка графита, имеющегося в школьной коллекции минералов. Такие коллекции выпускает фабрика «Природа и школа».

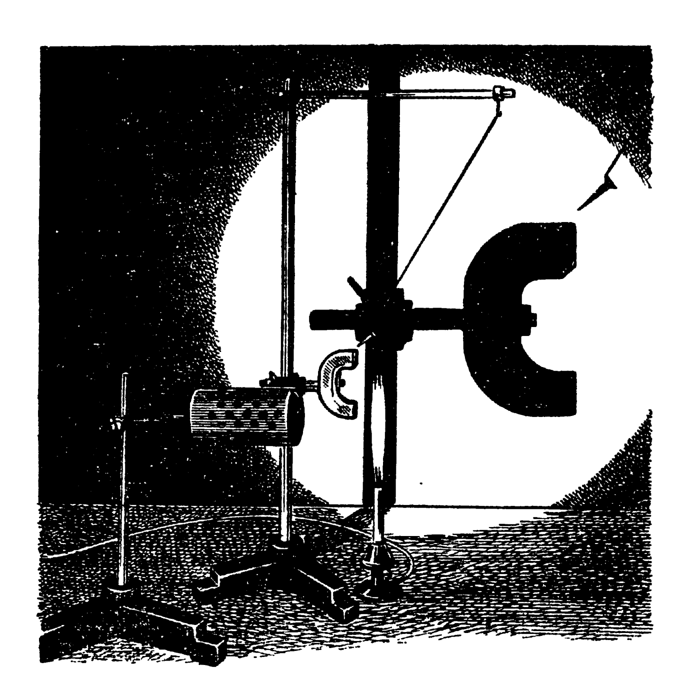


Рис. 3-167. Установка для демонстрации точки Кюри в теневой проекции.

Приступая к опыту, включают звуковой генератор, стрелку гальванометра приводят к нулю и пропускают через соленоид постоянный ток около 5 А. Приближая и удаляя зонд, проверяют его действие. Затем устанавливают зонд на таком расстоянии, чтобы стрелка гальванометра дала небольшое, но заметное отклонение.

После этого вводят внутрь соленоида стальное ярмо от универсального трансформатора. Стрелка гальванометра сильно отклоняется: магнитное поле вокруг соленоида значительно усилилось.

Далее показывают, что при удалении ярма магнитное поле вновь ослабевает и стрелка возвращается в исходное положение.

ОПЫТ 180. ТОЧКА КЮРИ

Оборудование: 1) магнит постоянный, 2) шуруп или гвоздь железный на нихромовой проволоке, 3) штатив универсальный, 4) горелка газовая, 5) осветитель для теневой проекции.

На универсальном штативе закрепляют сильный магнит и на тонкой нихромовой проволоке подвешивают небольшой железный шуруп или гвоздь, как показано на рисунке 3-167. Шуруп должен притягиваться полюсом магнита и удерживаться на расстоянии 2—3 см от него, а проволока с подвешенным шурупом — образовывать угол 30° с вертикалью.

Затем подставляют газовую горелку так, чтобы шуруп попал в наиболее горячую часть пламени и мог нагреться до ярко-красного каления. Когда температура шурупа достигнет точки Кюри (753 °С), он потеряет свои ферромагнитные свойства, перестанет притягиваться и отпадет от магнита: проволока, на которой он подвешен, займет вертикальное положение.

Если магнит достаточно силен, а проволочный подвес не слишком тяжел и отклонен на небольшой угол, то шуруп, отпадая, успевает слегка остыть и, как маятник, вновь возвращается и притягивается к магниту. Таким образом, опыт периодически повторяется. В дальнейшем будет полезно напомнить его учащимся, как один из примеров автоколебаний.

Обычно шуруп или гвоздь плохо виден учащимся. Поэтому приходится прибегать к теневой проекции. Приборы надо размещать так, чтобы вся установка в целом была видна учащимся непосредственно, а мелкие детали в увеличенном виде проецировались на экран.

Длина шурупа или гвоздя, подобранного для опыта, не должна превышать 10—12 мм, иначе трудно будет добиться одновременного сильного накаливания его по всей длине.

Проволоку для подвешивания надо брать толщиной не более 0,5 мм, лучше нихромовую (от нагревательной спирали), так как стальная или медная быстро перегорает в пламени газовой горелки (при отсутствии газа можно воспользоваться паяльной лампой).

Для успешного проведения опыта нужен сильный постоянный магнит из специального сплава. Если такого магнита нет, его можно заменить электромагнитом.

Можно воспользоваться и обычным дугообразным магнитом, но в этом случае постановка опыта будет иной. В промежуток между полюсами такого магнита вводят железный гвоздь. Он тотчас будет притянут одним из полюсов и расположится вдоль линий магнитного поля (рис. 3-168). Если после этого нагреть гвоздь в пламени газовой горелки, то при надлежащей степени нагрева гвоздь опустится. Однако, как только пламя будет удалено, гвоздь снова поднимется и при-

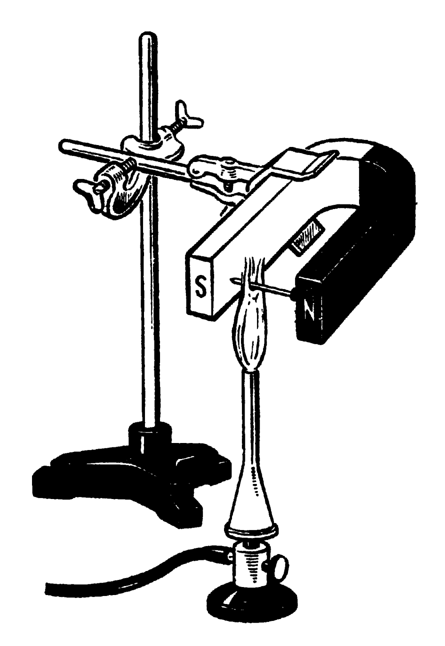
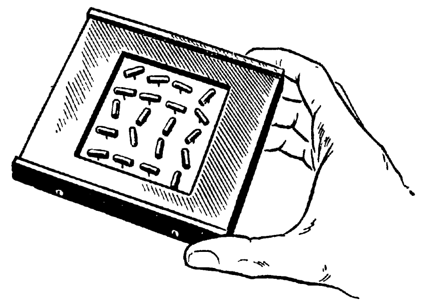


Рис. 3-168. Демонстрация точки Кюри.

мет прежнее положение. Для улучшения видимости и в этом случае следует воспользоваться методом теневой проекции.


Рис. 3-169. Модель строения магнита.

ОПЫТ 181. МОДЕЛЬ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

Оборудование: 1) модель строения ферромагнетика, 2) магнит постоянный прямой, 3) проекционный аппарат.

Для объяснения доменной структуры ферромагнетика пользуются небольшим прибором (рис. 3-169). Он состоит из рамки с дном из органического стекла и установленными на нем двадцатью остриями. Острия расположены в четыре ряда на расстоянии примерно 15 мм друг от друга. На каждое острие насажена магнитная стрелка или стальной намагниченный цилиндрик с одним закругленным торцом. Сверху рамка закрыта стеклом, предохраняющим цилиндрики от соскакивания с острия.

С помощью приспособления для горизонтальной диапроекции прибор проецируют на экран и обращают внимание учащихся на случайную самопроизвольную ориентацию магнитиков в приборе. Наблюдаемая картина аналогична воображаемой картине расположения частиц в ферромагнетике.

На рисунке 3-170, *а* показан один из случаев возможного расположения цилиндриков. На нем можно заметить группы магнитиков с одинаковой ориентацией. Это вполне соответствует наличию областей самопроизвольного намагничивания (доменов) в ненамагниченном ферромагнетике.

Подводя с двух противоположных сторон модели разноименные полюсы прямых магнитов, заставляют цилиндрики повернуться закругленными концами в одну сторону. В этом случае на экране получится картина, изображающая магнитное насыщение (рис. 3-170, *б*).

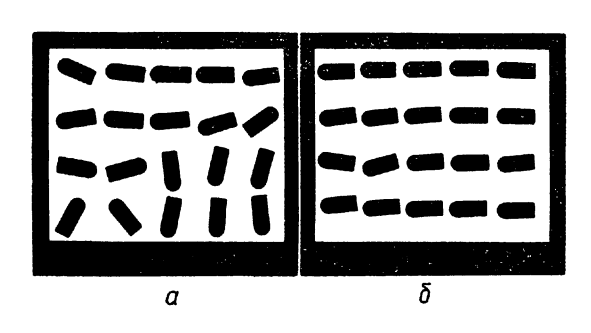


Рис. 3-170. Изображение модели на экране:
а — области самопроизвольного намагничивания; *б* — состояние насыщения.

Если двигать над прибором полюс магнита и этим способом привести магнитики в быстрое вращение, то они вновь образуют по-разному ориентированные группы. Подобно этому происходит размагничивание образца в переменном магнитном поле при ударах, при нагревании.

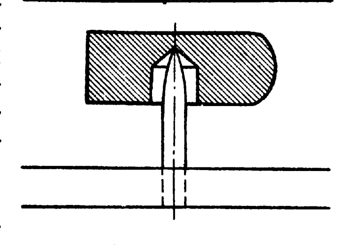


Рис. 3-171. Способ подвески намагниченного цилиндрика.

При изготовлении самодельной модели главное внимание надо обратить на изготовление магнитиков. Их нарезают длиной по 12 мм из стального прута диаметром 5 мм. В середине заготовленного цилиндрика сверлят глухое отверстие диаметром 2 мм, не доходя до конца на 1—1,5 мм (рис. 3-171). Чтобы вершина отверстия для иглы была более узкой, полезно сделать небольшую дополнительную сверловку тонким сверлом (0,5—0,8 мм).

Изготовленные цилиндрики уравновешивают в горизонтальном положении, подпиливая более тяжелый конец сверху или снизу (образовавшиеся плоскости на проекции не будут видны). После этого все цилиндрики закаливают и намагничивают при помощи электромагнита, собранного из деталей универсального трансформатора.

ОПЫТ 182. СКАЧКООБРАЗНОЕ НАМАГНИЧИВАНИЕ

Оборудование: 1) катушка с сердечником, 2) магнит дугообразный, 3) усилитель колебаний низкой частоты, 4) громкоговоритель, 5) провода соединительные.

Доменная структура ферромагнетика находит косвенное подтверждение в явлении, известном под названием эффекта Баркгаузена (1919 г.). Это явление состоит в том, что при медленном и плавном изменении напряженности намагничивающего поля магнитная индукция ферромагнетика изменяется не плавно, а отдельными беспорядочными скачками.

Чтобы продемонстрировать это явление, небольшую катушку из тонкой проволоки присоединяют через усилитель к громкоговорителю и внутрь катушки вставляют проволочку из мягкой стали. На расстоянии 50—80 см от катушки устанавливают дугообразный магнит и медленно подвигают его к катушке (рис. 3-172). При этом в громкоговорителе слышен нарастающий шум, напоминающий шум морского прибоя, можно различить отдельные трески, если двигать магнит издалека и достаточно медленно. Когда магнит достигает катушки, шум становится сплошным и ослабевает. При удалении магнита вновь возникает шум, переходящий в громкий шорох с отдельными ударами и треском.

Звуки, которые слышат учащиеся, создают в их представлении довольно наглядную картину намагничивания и размагничивания

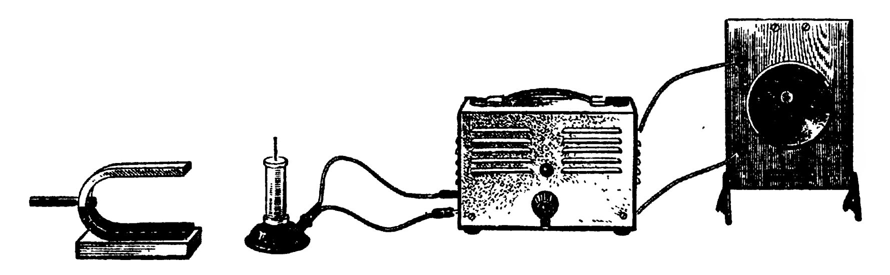


Рис. 3-172. Установка для демонстрации скачкообразного намагничивания.

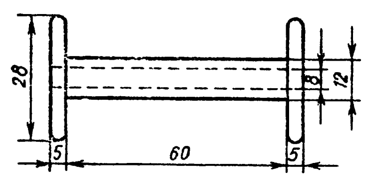


Рис. 3-173. Каркас катушки для демонстрации скачкообразного намагничивания.

стального сердечника. В начале опыта медленное нарастание напряженности в сердечнике вызывает в нем переворачивание отдельных сравнительно редких доменов. В эти моменты в катушке происходит скачкообразное увеличение потока магнитной индукции. В обмотке катушки возникает импульс индукционного тока, который усиливается и воздействует на громкоговоритель. В дальнейшем переориентации подвергается все большее число доменов и отдельные импульсы индукционного тока сливаются в сплошной шум.

Опыт можно несколько видоизменить, если магнит держать в том же положении поблизости от катушки и поворачивать его вокруг горизонтальной оси. В этом случае вектор напряженности магнитного поля в катушке поворачивается на 180°, что вызывает перемагничивание сердечника. При этом происходит как бы лавинное переворачивание доменов; оно сопровождается шумом, похожим на пересыпание гороха.

Для демонстрации этого опыта лучше всего изготовить специальную катушку. Каркас для нее можно выточить из дерева или склеить из картона по размерам, указанным на рисунке 3-173. На каркас надо намотать 10000—15000 витков медной эмалированной проволоки диаметром 0,1 мм.

Сердечником катушки служит полоса шириной 1,5—2 мм, отрезанная от листа трансформаторной стали. Длина полосы 100 мм. Можно также взять кусок стальной проволоки диаметром 1 мм, которую надо обязательно предварительно отжечь. Сердечник в катушке закрепляют деревянным клинышком или комочком бумаги.

Специальную катушку можно заменить катушкой от высокоомного головного телефона или двумя такими катушками, соединенными последовательно. Однако из-за малых размеров главной детали установки наглядность опыта в этом случае будет значительно хуже.

ОПЫТ 183. НАМАГНИЧИВАНИЕ И РАЗМАГНИЧИВАНИЕ СТАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ УДАРАМИ

Оборудование: 1) гальванометр демонстрационный от вольтметра, 2) электромагнит разборный, 3) стержень от универсального штатива, 4) киянка, 5) провода соединительные.

Стальные постоянные магниты рекомендуют оберегать от резких ударов, иначе магниты частично размагничиваются. Наоборот, при намагничивании стали, особенно в слабом магнитном поле, удары способствуют более сильному намагничиванию.

Для демонстрации этого явления на длинный стержень от универсального штатива надевают катушку от разборного электромагнита и присоединяют ее длинными проводами к зажимам демонстрационного гальванометра. Закрепляют в штативе классную указку в таком положении, чтобы она показывала направление вектора индукции магнитного поля Земли.

Захватив в левую руку стержень вместе с катушкой, располагают его вдоль линий индукции магнитного поля Земли и ударяют по концу стержня деревянным молотком-киянкой (рис. 3-174). Учащиеся, наблюдающие за гальванометром, замечают при этом отброс стрелки. При втором ударе стрелка отклоняется слабее, а при последующих ударах отклонений не наблюдается.

Отклонение стрелки в этом опыте свидетельствует о появлении индукционного тока, возникающего в цепи при усилении магнитного потока в катушке. Очевидно, причиной такого усиления является намагничивание стержня.

Это легко доказать опытом: надо быстро вынуть из катушки стержень; при этом гальванометр покажет возникновение индукционного тока. Вставляя стержень обратно в катушку, наблюдают возникновение индукционного тока противоположного направления.

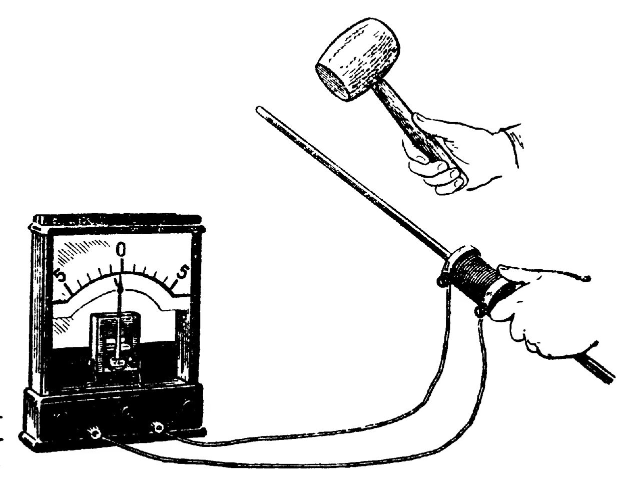


Рис. 3-174. Намагничивание стержня в магнитном поле Земли.

Расположив стержень перпендикулярно линиям индукции магнитного поля Земли, вновь ударяют по нему киянкой. Стрелка гальванометра отклоняется, но в противоположную сторону. Теперь происходит размагничивание железа и уменьшение магнитного потока в катушке.

Повторяют намагничивание стержня ударами, как было описано выше, переворачивают его на 180° и вновь ударяют. Теперь наблюдается значительно большее отклонение стрелки гальванометра. В этом случае удар по стержню вызывает перемагничивание, которое сопровождается удвоенным изменением магнитного потока в катушке.

Наилучшие результаты в этом опыте получаются, когда сопротивления катушки и гальванометра близки по величине. Демонстрационный гальванометр с сопротивлением 2,5 Ом с катушкой от разборного электромагнита сопротивлением 1,8 Ом дает в этих опытах максимальное отклонение стрелки на одно деление шкалы. Надо иметь в виду, что сталь, идущая на изготовление стержней универсального штатива, не всегда одинакова. Поэтому полезно перед демонстрацией подобрать из нескольких стержней такой, с которым получается наибольший эффект. Иногда полезно стержень предварительно отжечь.

ОПЫТ 184. ПОСТРОЕНИЕ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА

Оборудование: 1) амперметр демонстрационный — 2 шт., 2) катушка на 220 В от универсального трансформатора, 3) реостат на 140 Ом, 3,5 А, 4) звуковой генератор, 5) индикатор магнитной индукции, 6) штатив универсальный, 7) стержень из закаленной стали, 8) провода соединительные, 9) ящик-подставка.

Этот опыт состоит в исследовании зависимости индукции магнитного поля, создаваемого при намагничивании и перемагничивании сердечника, от напряженности поля катушки, в которую он помещен. В результате такого исследования по полученным данным на доске должна быть вычерчена петля гистерезиса.

Установка для опыта изображена на рисунке 3-175. Она состоит из двух частей. Слева на немагнитной подставке (стеклянная банка) установлена катушка на 220 В от универсального трансформатора. В нее вставлен стальной хорошо закаленный стержень, например большой напильник. Середина стержня обматывается достаточно большим количеством бумаги, чтобы он прочно держался в катушке. Зажимы катушки через демонстрационный амперметр с шунтом и шкалой на 3 А присоединены к зажимам реостата (приблизительно 140 Ом, 3,5 А), который используется как потенциометр. Его концы присоединяют к выпрямителю и подают напряжение 75 В. При этом напряжении ток в катушке достигает 3 А, когда скользящий контакт потенциометра поставлен у левого края, а через обмотку потенциометра течет ток около 0,5 А. При перемещении контакта вправо ток в катушке уменьшается до нуля.

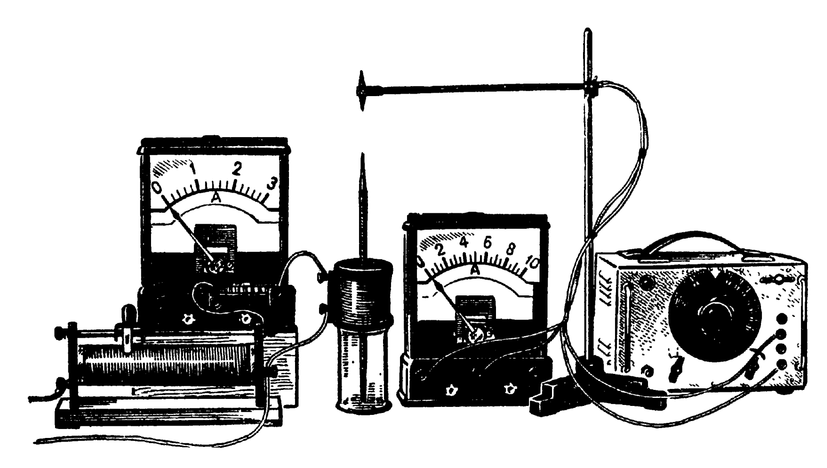


Рис. 3-175. Установка для изучения магнитного гистерезиса.

Справа на штативе закреплен индикатор магнитной индукции. Он помещен над стержнем на расстоянии 8 см и расположен вдоль его оси. Вход индикатора присоединен к выходу звукового генератора, а выходные концы индикатора — к зажимам демонстрационного гальванометра от амперметра, предназначенного для переменного тока. В гальванометр вставлена шкала с оцифровкой 0—10.

Собранную установку необходимо заблаговременно подготовить к опыту. Для этого корректорами подводят стрелки амперметра и гальванометра к нулевому делению. Затем включают звуковой генератор, настраивают его на частоту 1000—2000 Гц и увеличивают до предела амплитуду колебаний. Включают в катушку постоянный ток и, передвинув контакт потенциометра, доводят ток в катушке до 3 А, при этом стрелка гальванометра отклонится. Если она выйдет за пределы шкалы, надо индикатор немного поднять.

Поворачивая лимб генератора, добиваются наибольшего отклонения стрелки гальванометра. Затем опускают индикатор настолько, чтобы при токе в катушке, равном 3 А, показание гальванометра было равно 10. На этом подготовку установки к проведению опыта заканчивают и выключают ток в обеих частях установки.

Если установку готовят не сразу на демонстрационном столе, а в подсобном помещении, то приборы надо размещать на специальном большом лотке. В нужный момент всю установку можно быстро перенести на демонстрационный стол.

Перед началом демонстрации учащимся необходимо показать по частям собранную установку и разъяснить цель предстоящего опыта: выяснение зависимости величины индукции магнитного поля, создаваемого стальным сердечником катушки, от напряженности магнитного поля тока в катушке.

Выбор единиц не оказывает здесь никакого влияния на характер изучаемой зависимости, а показания амперметра и гальванометра

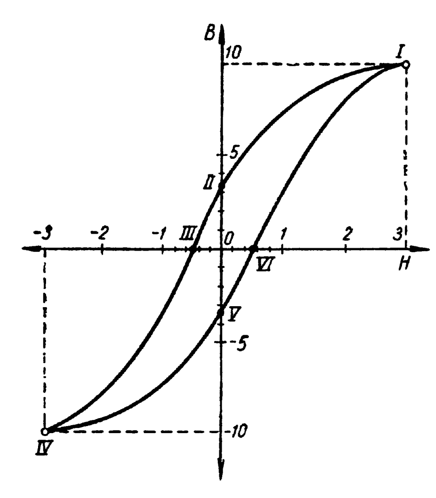


Рис. 3-176. Петля гистерезиса.

соответственно пропорциональны напряженности H магнитного поля тока в катушке и индукции B поля, создаваемого сердечником. На этом основании можно принять за единицы для измерения этих величин напряженность, создаваемую током в 1 А, и индукцию, вызывающую отклонение стрелки на 0,1 шкалы гальванометра.

Далее на классной доске проводят координатные оси H и B и наносят на них деления соответственно шкалам амперметра и гальванометра (рис. 3-176).

Включают обе части установки и при напряженности, равной 3 ед., получают магнитную индукцию 10 ед. Полученные координаты отмечают точкой I.

Затем передвигают контакт потенциометра и уменьшают напряженность до нуля. При этом по показаниям гальванометра магнитная индукция (остаточный магнетизм) оказывается равной, например, 3,4 ед. Соответствующие координаты отмечают точкой II.

Чтобы уничтожить остаточный магнетизм в сердечнике, меняют местами соединительные провода на катушке и увеличивают вектор напряженности в противоположном направлении, пока стрелка гальванометра не дойдет до нуля. По показаниям амперметра находят, что для уничтожения остаточного намагничивания потребовалось поле напряженностью 0,5 ед. (точка III).

Продолжают увеличивать напряженность и доводят ее вновь до 3 ед. (в противоположном направлении, так как провода в катушке поменяли местами). Как показывает гальванометр, индукция в сердечнике вновь достигла 10 ед. (точка IV).

При уменьшении напряженности до нуля индукция уменьшается до 3,4 ед. (точка V), а для доведения ее до нуля требуется вновь поменять местами провода на катушке и создать напряженность в 0,5 ед. (точка VI)[1]. Дальнейшее увеличение напряженности до 3 ед. увеличивает индукцию до 10 ед. (точка I).

Соединив найденные шесть точек, получают замкнутую кривую, носящую название петли гистерезиса. Из подробного рассмотрения этой кривой у учащихся создается полное представление о самом явлении гистерезиса, магнитном насыщении, остаточном магнетизме

[1] Важно вовремя остановить контакт потенциометра, так как при дальнейшем его движении стрелка гальванометра вновь пойдет вправо.

и коэрцитивной силе. Этот анализ помогает учащимся понять, как по форме петли гистерезиса можно судить о магнитных свойствах различных ферромагнетиков.

ОПЫТ 185. ПЕТЛЯ ГИСТЕРЕЗИСА НА ЭКРАНЕ ОСЦИЛЛОГРАФА

Оборудование: 1) электронно-лучевая трубка демонстрационная, 2) выпрямитель кенотронный, 3) стальные образцы — 2 пары, 4) реостат 40—50 Ом, 5) провода соединительные.

Петля гистерезиса может быть получена автоматически на экране электронного осциллографа. Известны два способа: один состоит в применении магнитных, а другой — электрических смещающих полей. Для демонстрации петли гистерезиса наиболее простым и понятным для учащихся является первый способ. Поэтому целесообразно вместо обычного технического или школьного осциллографа воспользоваться демонстрационной электронно-лучевой трубкой (см. опыт 151) с установленными на ней четырьмя катушками (рис. 3-177).

Катушки можно взять готовые из набора для фронтальных лабораторных работ. Они не требуют перемотки, но к основанию каждой из них надо приклепать (используя уже имеющиеся на основании каркаса два отверстия) скобу с вилкой, изготовленную из латуни или алюминия (рис. 3-178). Чтобы при установке на трубке зажимы катушек оказались снаружи, надо их вывернуть и поставить, как показано на рисунке 3-178.

Катушки, расположенные друг против друга, соединяют попарно и присоединяют к источнику тока по схеме, изображенной на рисунке 3-179. Обычно начало и конец обмотки отмечены на основании каркаса буквами *Н* и *К*. В каждой паре соединяют про-

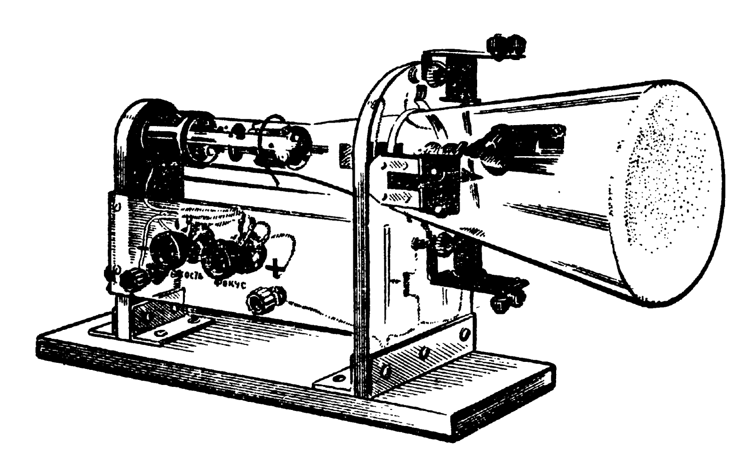


Рис. 3-177. Электронно-лучевая трубка с магнитным смещением электронного пучка.

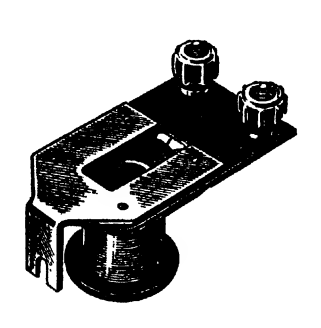




Рис. 3-178. Катушка к электронно-лучевой трубке.

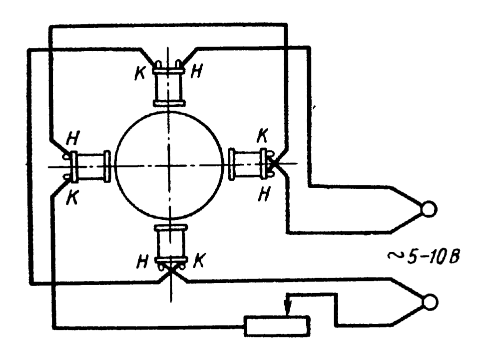


Рис. 3-179. Схема соединения катушек.

водником какие-либо одноименные зажимы. Оставшиеся два зажима будут служить для присоединения катушек к источнику тока. Катушки для отклонения электронного пучка по вертикали присоединяют к источнику тока через реостат на 40—50 Ом.

В качестве образцов для испытания надо приготовить четыре стальных стержня диаметром 5 мм и длиной около 100 мм. Одну пару надо отжечь, а другую — закалить.

Перед демонстрацией опыта электронно-лучевую трубку с отклоняющими катушками включают, как описано в опыте 151. Когда на экране трубки появится светящееся пятно, его перемещают на середину экрана при помощи магнитной скобы на горловине. Затем пятно фокусируют и регулируют его яркость. После этого уменьшают сопротивление реостата до нуля и, отключив одну пару катушек, подают на другую переменное напряжение 5—10 В. Напряжение подбирают так, чтобы получить на экране достаточно большое отклонение пучка.

Включая поочередно сначала одну пару катушек, затем вторую, учащимся показывают отклонение пучка по горизонтали и по вертикали. Наконец, включают обе пары катушек и демонстрируют результат одновременного их действия — отклонение пучка под углом 45° к координатным осям.

Далее отключают горизонтально отклоняющие катушки, а в катушки, отклоняющие пучок по вертикали, вставляют пару закаленных стальных стержней. Естественно, что отклоняющее поле от этого усиливается и вертикальная светящаяся полоска сильно удлиняется. Увеличивая сопротивление реостата, светящуюся полоску сокращают до прежней длины и включают горизонтально отклоняющие катушки. Теперь вместо прямой полоски, расположенной под углом 45°, учащиеся наблюдают довольно широкую петлю гистерезиса, подобную полученной в предыдущем опыте.

Заменив закаленные стержни такими же по величине стержнями из хорошо отожженной стали, получают более узкую петлю.

Петля гистерезиса, получаемая автоматически на экране трубки описанным способом, отличается лишь тем, что переход к насыщению на ней не так заметен, как на петле, построенной на графике.

ОПЫТ 186. МАГНИТНАЯ ЗАЩИТА

Оборудование: 1) магниты прямые (пара), 2) магнит дугообразный, 3) кольца железные— 2 шт., 4) стеклянные пластинки 15 × 25 см — 2 шт., 5) коробочка-сито с железными опилками, 6) проекционный аппарат, 7) штатив универсальный, 8) гиря с крючком, 9) пластинки из железа и других материалов.

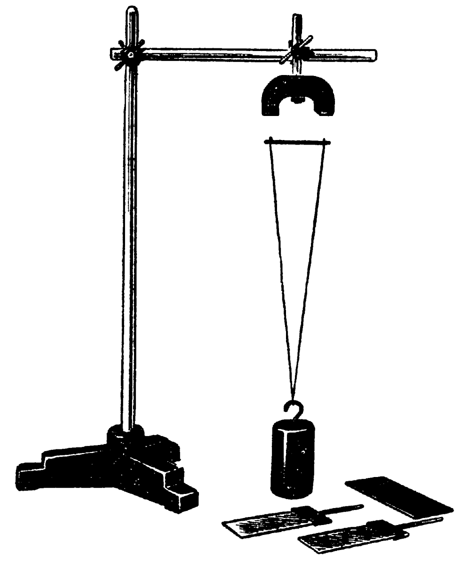


Рис. 3-180. Установка для демонстрации магнитной защиты.

Чтобы выделить некоторый объем, свободный от магнитного поля, прибегают к магнитному экранированию. Оно основано на том, что железо, внесенное в магнитное поле, намагничивается. В результате сложения намагничивающего поля и поля, образованного намагниченным железом, можно получать ограниченные области пространства, совершенно свободные от магнитного поля.

Для показа магнитной защиты полезно провести следующие два опыта:

1. Сильный дугообразный магнит закрепляют вниз полюсами, как показано на рисунке 3-180. Кусок стальной проволоки диаметром 2 мм подвязывают на двух нитях к крючку стоящей на столе гири и подносят снизу к полюсам магнита. Магнит устанавливают на максимальной высоте, при которой проволока надежно удерживается притяжением магнита, слегка натягивая нити.

Затем в промежуток между проволокой и полюсами магнита поочередно вносят пластинки из стекла, дерева, алюминия, меди и показывают, что загораживание магнита этими пластинками нисколько не ослабляет его действия на проволоку. При внесении же пластинки из железа проволока немедленно падает.



Рис. 3-181. Расположение магнитов и кольца для демонстрации магнитной защиты.

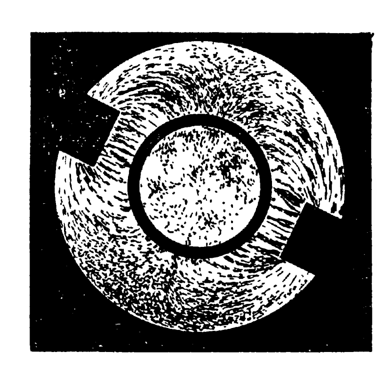


Рис. 3-182. Изображение магнитного поля.

2. Проекционный аппарат настраивают для горизонтального проецирования и на оправу конденсора кладут стеклянную пластинку. На середине пластинки размещают железное кольцо и два прямых магнита, обратив их к кольцу разноименными полюсами. Поверх магнитов накладывают вторую стеклянную пластинку, а на нее — второе кольцо так, чтобы оба кольца оказались возможно точнее, одно над другим (рис. 3-181).

Получив на экране отчетливые силуэты магнитов и кольца, рассеивают ситечком по верхнему стеклу железные опилки. Последние располагаются так, как показано на рисунке 3-182. При этом оказывается, что опилки внутри кольца расположились беспорядочно, — следовательно, магнитное поле внутри кольца отсутствует.

Чтобы картина получилась отчетливее, надо слегка постучать по стеклу карандашом. На расположение опилок внутри кольца это не повлияет, так как два кольца, помещенные одно над другим, дают вполне надежную экранировку.

СПИСОК САМОДЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПОСОБИИ

ВВЕДЕНИЕ И ГЛАВА I

1. Осветитель для теневого проецирования и подсвета.
2. Экран для черного, белого и просвечивающего фонов.
3. Капельница для записи движения.
4. Платформа (доска) на четырех роликах для демонстрации сложения перемещений.
5. Диск для определения угловой скорости стробоскопическим методом.
6. Модель подвижной системы электроизмерительного прибора.
7. Тележка реактивного движения.
8. Пульверизатор демонстрационный.
9. Приспособления для опытов по гидродинамике (сближающиеся пластины при продувании воздуха, поднимающийся диск, срыв крыши).

ГЛАВА II

10. Пружина со стеклянной пластинкой для демонстрации прилипания.
11. Прибор для демонстрации закона Бойля—Мариотта и постоянства давления насыщающих паров при данной температуре.
12. Термопара к чувствительному гальванометру М1032.
13. Прибор, моделирующий давление газа.
14. Доска Гальтона.
15. Столик для проекционной кюветы и прибора Авенариуса.
16. Каркасы для мыльных пленок.
17. Прибор для демонстрации явления флотации.
18. Кювета для демонстрации явления смачивания и несмачивания.

19. Плоский капиллярный сосуд для проекции на экран.

20. Трубка для выдувания мыльных пузырей.

21. Прибор для демонстрации явления адсорбции.

22. Прибор для демонстрации видов деформации.

23. Колба литровая с пробкой и трубкой для демонстрации упругой деформации стекла.

24. Модель автоматического терморегулятора.

ГЛАВА III

25. Механическая модель электрической цепи.

26. Прибор для демонстрации изменения сопротивления проводника при нагревании.

27. Панелька с двумя электродами для наблюдения картины движения ионов в электрическом поле.

28. Трубка и дымарь для демонстрации устройства и принципа действия электрофильтра.

29. Прибор для наблюдения взаимодействия параллельных токов.

30. Прибор для демонстрации вращения проводника с током вокруг магнита.

31. Индикатор магнитного поля с вращающимся якорем.

32. Катушка с сердечником для демонстрации скачков намагничивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бандаревский М. М. и др. Физический эксперимент в средней школе. Т. 1, 1964; т. 2, 1965; т. 3, 1966. Киев, «Радянська школа».

Буров В А. Методика изучения полупроводников в школе. М., «Просвещение», 1965.

Винклер К. Двадцать пять опытов по физике полета (перевод с немецкого). М., Учпедгиз, 1963.

Гирке Р, Шпрокхоф Г. Эксперимент по курсу элементарной физики, ч. 1 и 2. Под ред. проф. П. А. Знаменского и проф. П. А. Рымкевича. М., Учпедгиз, 1959.

Глазырин А. И. Самодельные приборы по физике и опыты с ними. М., Учпедгиз, 1960.

Горячкин Е. Н., Орехов В. П. Методика и техника физического демонстрационного эксперимента в восьмилетней школе. М., «Просвещение», 1964.

Грабовский М. А. и др. Лекционные демонстрации по физике. Под ред. В. И. Ивероновой М., «Наука», 1972.

Гринбаум М. И. Самодельные приборы по физике М., «Просвещение», 1972.

Демонстрационные опыты по физике в 6—7 классах средней школы. Под ред. А. А. Покровского. М., «Просвещение», 1974.

Жерехов Г. И. Демонстрационный эксперимент по механике. М., Учпедгиз, 1961.

Жерехов Г. И. Демонстрации с техническим содержанием по механике. Уфа, Башкирское кн. изд-во, 1965.

Покровский А. А. и др. Демонстрационные опыты по молекулярной физике и теплоте. М., Учпедгиз, 1960.

Покровский А А и др. Физический эксперимент в школе (электроника, полупроводники, автоматика). М., «Просвещение», 1964.

Разумовский В. Г., Шамаш С. Я. Изучение электроники в курсе физики средней школы. М , «Просвещение», 1968.

Учебное оборудование по физике в средней школе. Под ред. А. А. Покровского. М., «Просвещение», 1973.

Шахмаев Н. М., Каменецкий С. Е. Демонстрационные опыты по электродинамике. Изд 2-е, М., «Просвещение», 1973.

Шпрокхоф Г. Эксперимент по курсу элементарной физики. Под ред. проф. П. А. Знаменского и проф. П. А. Рымкевича. Ч. 3, 1965; ч. 5, 1967. М., «Просвещение».

ОГЛАВЛЕНИЕ

II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

III. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

ИБ № 1720

Владимир Алексеевич Буров,
Борис Сергеевич Зворыкин,
Алексей Петрович Кузьмин,
Александр Андреевич Покровский,
Иван Михайлович Румянцев

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ФИЗИКЕ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

Часть 1. Механика, молекулярная физика, основы электродинамики

Редактор *А. И. Юдина*
Переплет художника *Е. Т. Яковлева*
Художественный редактор *В. М. Прокофьев*
Технический редактор *В. Ф. Коскина*
Корректор *Т. А. Кузнецова*

Сдано в набор 25. 10. 77. Подписано к печати 10. 05. 78. 60 X 90$^1/_{16}$. Бумага тип. № 2. Гарн. литер. Печать высокая. Усл. печ. л. 22,0. Уч.-изд. л. 22,43. Тираж 101 000 экз Заказ № 438. Цена 85 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета Совета Министров РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Саратовский ордена Трудового Красного Знамени полиграфический комбинат Росглавполиграфпрома Государственного комитета Совета Министров, РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Саратов, ул. Чернышевского, 59.